

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA- UFSC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E
URBANISMO- PósARQ**

Nathália Barbosa de Queiroz Braga

**A INTER-RELAÇÃO ENTRE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E DESEMPENHO
TÉRMICO EM RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES NATURALMENTE
VENTILADAS EM NATAL/RN**

Dissertação apresentada ao Programa
de Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo da
Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do Título de
Mestre em Arquitetura e Urbanismo
Orientador:

Prof. Dr. Renato T. de Saboya

Co-orientador:

Prof. Dr. Martin Ordenes Mizgier

Florianópolis

2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Braga, Nathália Barbosa de Queiroz
A INTER-RELAÇÃO ENTRE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E
DESEMPENHO TÉRMICO EM RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES
NATURALMENTE VENTILADAS EM NATAL/RN. / Nathália Barbosa de
Queiroz Braga ; orientador, Renato Tibiriçá de Saboya ; co-
orientador, Martin Ordenes Mizgier. - Florianópolis, SC,
2013.
232 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo.

Inclui referências

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Sintaxe Espacial. 3.
Desempenho Térmico. 4. Ventilação Natural. 5.
Bioclimatologia. I. Saboya, Renato Tibiriçá de. II.
Mizgier, Martin Ordenes. III. Universidade Federal de
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e
Urbanismo. IV. Título.

Dedico este trabalho à minha
família, a qual sempre me
apoiou, em todos os
momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho:

Aos queridos amigos de Florianópolis, pelas ótimas companhias dos momentos difíceis dos trabalhos nas disciplinas, aos momentos de lazer e relaxamento nessa ilha maravilhosa, Laura Rendón, Andrea Invidiata, Adriane Sobreira, Marcelo Kuhn, Viviane Iwakiri, Rúbia Carminatti, Roberta Ribeiro, Carol Carvalho, Marcelo Galafassi, Ana Rocha, Virginia de Lucca, Miguel Pacheco, Renata De Vecchi, Rosana Debiasi, Raphaela Walger, Alejandro Naranjo, Letícia Niero e todos que fazem parte do Labcon/UFSC.

À amiga Rosana Munhoz e sua família, muito obrigada pelo carinho e pela atenção em terras distantes.

Aos companheiros de apartamento, Juan Ricardo e Aline Signori, obrigada por me receberem e pelo apoio quando precisei.

À amiga Katia Zornetta, amiga muito querida, sempre presente e disponível a ajudar no que precisasse.

Àquele que foi fundamental para o fechamento do trabalho, André Luiz Carrilho, meus sinceros agradecimentos por tudo!

Aos amigos queridos de Natal pelo apoio sempre importante e em especial aos amigos arquitetos, os quais gentilmente cederam seus projetos arquitetônicos para a realização da pesquisa. Obrigada Henrique Ramos, Carla Amorim, Cristina Lima, Rani Soares, Sandra Albino, Manu Albuquerque, Leila Guilhermino, Haroldo Maranhão, André Souza, Claudia Serejo, César Henrique, Renato Medeiros, Renata Matos, Natália Queiroz, Akiles Oliveira e Alice Rück. Sem vocês isso não teria sido possível!

Aos orientadores sempre presentes e atentos às minhas dúvidas e dificuldades durante a elaboração da dissertação. Renato e Martin, o apoio de vocês foi fundamental, obrigada!

À família, sempre proporcionando o conforto e o apoio necessário às nossas principais realizações. Muito obrigada a todos, minha mãe, meu pai e minha irmã, pelo suporte e encorajamento nessa jornada!

RESUMO

Sabe-se que as edificações residenciais no Brasil representam um dos setores que mais consomem energia, ou seja, 9,4% de toda energia consumida no país. Somente atrás dos setores de transportes (30,0%) e da indústria (35,8%). Considerando somente o consumo de energia elétrica esse percentual passa para 23,6% no setor residencial, atrás apenas do setor industrial, com 43,6% do consumo de eletricidade total. Sendo assim, novas ideias que levem a um menor consumo energético, elétrico, ou de outras fontes de origem não renovável, fazem-se muito importantes na atualidade. Os estudos em eficiência energética de edificações se encontram em amplo desenvolvimento, buscando novas formas de conferir alto desempenho energético às edificações. Dentro desse contexto, surge um espaço onde a Sintaxe Espacial pode ser inserida nesses estudos de eficiência energética, como uma tentativa de se buscar possíveis relações entre medidas de desempenho térmico com medidas proporcionadas pela análise espacial (Sintaxe Espacial). Desse modo, a atual pesquisa, após estudo de literatura bibliográfica específica, desenvolve um estudo exploratório traçando paralelos entre medidas de espacialidade, ou sintaxe espacial e de desempenho térmico, porém, levando em consideração apenas o uso da ventilação natural como estratégia de condicionamento para clima tropical quente e úmido. A cidade escolhida ou tipo de clima para estudo foi Natal/RN. A partir de uma amostra ilustrativa de projetos de edificações contemporâneas residenciais dessa localidade foi possível realizar simulações de desempenho térmico, através do software *EnergyPlus*, verificando-se variáveis como número de Graus-hora acima dos 26°C e trocas de ar por hora (taxa de infiltração). Além disso, foram extraídas e verificadas medidas de sintaxe espacial como índice de fechamento, índice de funcionalidade, profundidade, integração (permeabilidade e visibilidade) e conectividade - medidas essas extraídas a partir de Mapas VGA, Axial, Convexo, e grafos justificados, através dos softwares *Depthmap* e *Jass*. Sendo assim, para as simulações foram construídos modelos tridimensionais e bidimensionais virtuais baseados em cada um dos projetos arquitetônicos coletados na amostra, conservando-se assim apenas a

distribuição espacial dos mesmos. Os demais aspectos arquitetônicos como cobertura, aberturas, vedações, e proteções foram padronizados, tendo em vista o isolamento da variável a ser analisada, a espacialidade de cada residência. A amostra final analisada foi ainda dividida em dois grupos distintos, de acordo com o número de pavimentos de cada modelo analisado, considerando-se que foram utilizados apenas projetos de um e dois pavimentos. Sendo assim, através da pesquisa em questão encontraram-se resultados que indicam haver relações de até 60% entre variáveis de desempenho térmico e sintaxe espacial, o que pode ser um conhecimento valioso para arquitetos e projetistas. Sendo assim, pode-se considerar que a Sintaxe Espacial é sim uma abordagem projetual interessante que pode muito bem ser explorada por projetistas não somente para variar o nível de interação entre pessoas nos espaços, como também para variar o nível de desempenho energético dos mesmos.

Palavras-chave: sintaxe espacial, desempenho térmico, ventilação natural, bioclimatologia, espacialidade.

ABSTRACT

It is well known that residential buildings in Brazil represent one of the largest sectors of energy consumption, with a consumption percentage of 9,4% considering the total power consumed in the country. It is only behind the transportation (30,0%) and industrial (35,8%) sectors. Considering only the electric power consumption the residential sector's energy consumption percentage rises up to 23,6%, only behind the industrial sector which owns 43,6% of the total electric power consumption. Thus, new ideas which lead us to decrease energy consumption - especially non-renewable types of energy - are very important nowadays. The studies on the energy efficiency matter are in extensive development, searching for new ways of providing high performance to buildings. Taking into account this context a gap arises in where Space Syntax could be inserted to improve the energy efficiency studies, as an attempt to search for possible relations between thermal performance measures and the measures provided by spatial analysis (Space Syntax). Thereby, the current research after the study of specific literature in the area developed an exploratory study which traces parallels between spatiality and thermal performance measures considering the use of natural ventilation as an air conditioning strategy for tropical hot and humid climate. The city chosen to be analysed in the research was Natal/RN, located in the Northeast corner of Brazil. From an illustrative sample of contemporary residential designs from Natal it was possible to perform thermal performance simulations using the EnergyPlus software verifying variables such as Degrees-hour above 26°C and air changes per hour (infiltration rate). Furthermore spatial measures such as closing index, functionality index, deepness, integration (visibility and permeability) and connectivity were extracted from VGA Maps, Axial Maps, Convex Maps and justified graphs through Depthmap and Jass software. Thus, three-dimensional and bi-dimensional virtual models were built based on each one of the designs collected as the sample, keeping it original only the spatiality of each one of those. The other architectural aspects such as openings, roof, ceiling, seals, and shadings were standardized in order to isolate the variable which will be analysed by the research, in

other words: the houses' spatiality. The final sample analysed was divided into two different groups, according to the number of floors but considering that there are only houses with one and two floors. Thus, through this research the main results show that the highest correlation found (60%) between thermal performance and Space Syntax variables is a meaningful knowledge for architects and building designers. Thereby, Space Syntax could be considered as an interesting design approach which could be explored by designers not only to vary the level of interaction between people inside spaces but also to vary the energy performance of the buildings.

Key-words: Space Syntax, thermal performance, natural ventilation, bioclimatology, spatiality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição do consumo de energia no Brasil por setor. Fonte: BEN, 2012.....	30
Figura 2 - Consumo percentual de energia elétrica por setor em 2011.	31
Figura 3 – Divisão das fontes de energia, ou matriz energética, brasileiras, no mundo e da OCDE por ano. Fonte: Ministério de Minas e Energia (BEN), 2012.....	31
Figura 4 – Oferta de energia interna no Brasil por tipo de fonte. Fonte: Ministério de Minas e Energia (BEN), 2012.....	32
Figura 5 – Mapa resumo da atual pesquisa.	38
Figura 6 – Faixa de temperaturas operativas aceitáveis para ambientes condicionados naturalmente. Fonte: ANSI/ASHRAE, 2010.....	42
Figura 7 – Carta Bioclimática Natal/RN. Fonte: GOULART, Solange ET AL. (1998).	46
Figura 8 – Estratégias Bioclimáticas para Natal/RN (%). Fonte: GOULART, Solange ET AL. (1998).	46
Figura 9 – Variação mensal de temperatura com faixa de conforto sobreposta (ASHRAE Standard 55-2004). Fonte: Climate Consultant, obtido através de arquivo climático 'RN_Natal.epw' (www.labee.ufsc.br).....	47
Figura 10 – Variação mensal da velocidade do vento em Natal/RN. Fonte: Climate Consultant, obtido através de arquivo climático 'RN_Natal.epw' (www.labee.ufsc.br).....	48
Figura 11 – Rosa dos ventos com distribuição horária da incidência dos ventos. Fonte: Climate Consultant, obtido através de arquivo climático 'RN_Natal.epw' (www.labee.ufsc.br).....	49
Figura 12 – Variação mensal de temperatura de bulbo seco versus umidade relativa de Natal/RN. Fonte: Climate Consultant, obtido através de arquivo climático 'RN_Natal.epw' (www.labee.ufsc.br).	49
Figura 13 – Carta de sombreamento solar de Natal (do verão ao outono). Fonte: Climate Consultant, obtido através de arquivo climático 'RN_Natal.epw' (www.labee.ufsc.br).....	50

Figura 14 – Carta de sombreamento solar de Natal (do inverno a primavera). Fonte: Climate Consultant, obtido através de arquivo climático ‘RN_Natal.epw’ (www.labee.ufsc.br).....	50
Figura 15 - Frequência mensal de direção do vento em Natal/RN. Fonte: GOULART, Solange et al. (1998).....	51
Figura 16 – Rosa dos Ventos para Natal/RN. Fonte: SOL-AR.	51
Figura 17 – Estudo de proporções conduzido por Olgyay já em 1963. OLGAY, 1998.	54
Figura 18 – Distintas formas de plantas empregadas nos estudos dos ábacos. BURBERRY, 1983.	54
Figura 19 – Relação entre calor unitário necessário e proporção de planta baixa. Fonte: BURBERRY, 1983.	57
Figura 20 – Relação entre perda de calor e proporção de planta baixa. Fonte: BURBERRY, 1983.....	57
Figura 21 – Recomendação de projeto para se construir no Nordeste: criar uma sombra. HOLANDA, 2010.....	58
Figura 22 - Recomendação de projeto para se construir no Nordeste: recuar as paredes. HOLANDA, 2010.	58
Figura 23 - Recomendação de projeto para se construir no Nordeste: proteger as janelas. HOLANDA, 2010.	58
Figura 24 – Recomendação de projeto para se construir no Nordeste: continuar os espaços. HOLANDA, 2010.	58
Figura 25 – Distribuição do fluxo de ar dentro e fora da edificação no primeiro caso. Fonte: Bengalee, et al (2012).....	64
Figura 26 – Coeficientes de pressão sobre superfície para o primeiro caso. Fonte: Bengalee, et al (2012).....	64
Figura 27 – Exemplo de distribuição de Cp, ou coeficiente de pressão, em uma edificação. Fonte: ALLARD, 1998.	69
Figura 28 - Parâmetros que afetam a distribuição do coeficiente de pressão. Fonte: ALLARD, 1998.	69
Figura 29 - Divisão do território brasileiro em oito zonas bioclimáticas (ZB's). Fonte: ABNT, 2005.	70
Figura 30 – Critérios de avaliação do desempenho térmico para condições de verão e inverno, método por simulação computacional. Fonte: NBR 15575, 2008.	73
Figura 31 – Níveis de eficiência energética concedidos através do RTQ-R. Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL, 2011.	74

Figura 32 - Escalas para etiquetagem de envoltória considerando-se ventilação natural, ou resfriamento passivo, por zona bioclimática, estabelecidas pelo RTQ-R. Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL, 2011.....	75
Figura 33 – Comparativo de agrupamento das zonas bioclimáticas. Fonte: LOURA, et al, 2011.	77
Figura 34 - Modelo de rede AirflowNetwork. Fonte: ENERGYPLUS, 2012.	80
Figura 35 – Elementos primários utilizados em análises pela sintaxe espacial. Espaços não são apenas planos de fundo para atividades, mas aspectos intrínsecos a essas. Fonte: VAUGHAN, 2007.....	83
Figura 36 – Exemplo de isovista. Fonte: TURNER ET AL, 2001.	86
Figura 37 – Exemplo de grafo de análise de visibilidade na Tate Gallery, o qual tem a isovista como origem. Fonte: TURNER ET AL, 2001.	86
Figura 38 – Mapa axial de conectividade, os números em cada linha representam o número de outras linhas que cada uma delas intercepta. Fonte: HILLIER & HANSON, 1984.....	89
Figura 39 – a), b), c) caminhos mínimos entre pares de caminhos quaisquer; d) os tons de cinza e as espessuras indicam os espaços mais intensamente utilizados como passagem pelos caminhos mínimos. Fonte: SABOYA, 2001.	89
Figura 40 – Exemplos de análise axial, através de linhas, e VGA, através de pontos, respectivamente. Fonte: BECK & TURKIENICZ, 2009.	95
Figura 41 – Exemplo de análise através de mapa convexo. Fonte: BECK & TURKIENICZ, 2009.....	96
Figura 42 – Exemplos de análise configuracional de três residências através de grafos justificados. Fonte: MONTEIRO, 1997.	97
Figura 43 – Classificação dos espaços de acordo com suas conexões. Fonte: HOLANDA, 2011.....	99
Figura 44 - Classificação dos espaços de acordo com suas conexões. Fonte: HANSON, 1998.....	99
Figura 45 – Configurações espaciais básicas. Fonte: Hillier & Hanson, 1984.....	100
Figura 46 – Casa 04, exemplo de tipo ‘sala comum’. Fonte: HILLIER ET AL, 1987.....	104
Figura 47 – Casa 17, exemplo de tipo centrado na transição. Fonte: HILLIER ET AL, 1987.	104

Figura 48 – Exemplos de barracos e casas de favela analisados pela autora. Fonte: MONTEIRO, 1997.	105
Figura 49 - Exemplos de habitação social analisada pela autora. Fonte: MONTEIRO, 1997.	105
Figura 50 - Exemplos de apartamentos de classe média analisados pela autora. Fonte: MONTEIRO, 1997.	105
Figura 51 – Exemplo de residência modernista analisada no estudo. Fonte: AMORIM, 1999.	107
Figura 52 – Exemplo de residência eclética (pré-modernista) analisada no estudo. Fonte: AMORIM, 1999.	107
Figura 53 – Tipos de representação utilizados na condução da pesquisa de Beck & Turkienicz (2009). Mapas convexos, mapas axiais e mapas VGA (conectividade, integração e profundidade a partir da entrada), respectivamente. Fonte: BECK & TURKIENICZ, 2009.	109
Figura 54 – Exemplo de modelo simulado no <i>EnergyPlus</i>	114
Figura 55 - Exemplo de modelo simulado no <i>EnergyPlus</i>	114
Figura 56 – Tipos de aberturas externas adotados nas simulações de desempenho térmico.	116
Figura 57 – Modelo zonal de rede do ENERGYPLUS selecionado para as simulações de desempenho térmico.	118
Figura 58 – Equação de cálculo do PAFt (Percentual de área de abertura na fachada total).	120
Figura 59 – Exemplo de análise de permeabilidade (axial) desenvolvida em estudo piloto detalhado mais a frente. As linhas em cores mais quentes representam caminhos, ou retas, mais integrados. Já os de cores mais frias representam caminhos mais segregados.	121
Figura 60 - Exemplo de análise de visibilidade (VGA) desenvolvida em estudo piloto detalhado mais a frente. As células em cores mais quentes representam pontos de maior visibilidade. Já aquelas de cores mais frias representam pontos de menor visibilidade.	121
Figura 61 – Exemplo de análise convexa aplicada na pesquisa. As cores mais quentes representam espaços mais integrados e as cores mais frias espaços mais segregados.	122
Figura 62 – Exemplo de análise através de grafo justificado desenvolvido no estudo piloto.	122
Figura 63 – Sentido e força da correlação em função do valor de r. Fonte: Barbetta, 2007.	123

Figura 64 – Análise e dados extraídos em estudo piloto da Casa Akiles.	129
Figura 65 - Análise e dados extraídos em estudo piloto da Casa Pajuçara.	130
Figura 66 - Análise e dados extraídos em estudo piloto da Casa Manoel.	131
Figura 67 - Análise e dados extraídos em estudo piloto da Casa Alice.	132
Figura 68 – Gráficos de dispersão e correlação entre medidas de integração e graus-hora. A) Integração (visibilidade) X Graus-hora>26°C (janelas abertas); B) Integração (permeabilidade) X Graus-hora>26°C (janelas abertas); C) Integração (visibilidade) X Graus-hora>26°C (janelas fechadas); D) Integração (permeabilidade) X Graus-hora>26°C (janelas fechadas).	138
Figura 69 – Valores médios de conectividade por zona.	138
Figura 70 - Gráficos de dispersão e correlação entre medidas de conectividade e graus-hora. A) Conectividade X Graus-hora>26°C (janelas abertas); B) Conectividade X Graus-hora>26°C (janelas abertas).	139
Figura 71 - Gráficos de dispersão e correlação entre medidas de índice de fechamento e graus-hora. A) Índice de fechamento X Graus-hora>26°C (janelas abertas); B) índice fechamento X Graus-hora>26°C (janelas abertas).	140
Figura 72 - Plantas baixas das residências com suas respectivas zonas e orientações (Grupo 01).	144
Figura 73 - Mapas VGA de integração por modelo considerando a análise de visibilidade com seus respectivos valores de graus-hora>26°C por zona, para a situação na qual as janelas permanecem sempre abertas.	145
Figura 74 - Mapas VGA de integração por modelo considerando a análise de permeabilidade com seus respectivos valores de graus-hora>26°C por zona, para a situação na qual as janelas permanecem sempre abertas.	146
Figura 75 - Mapas convexos de integração para cada residência considerando a análise de permeabilidade.	148

Figura 76 - Mapas VGA de conectividade por modelo considerando a análise de visibilidade com seus respectivos valores de graus-hora>26°C por zona, para a situação na qual as janelas permanecem sempre abertas.	149
Figura 77 - Grafos justificados para cada sistema configuracional residencial. A raiz do sistema (porta de entrada principal) situa-se no primeiro nível de profundidade.	150
Figura 78 - Plantas baixas das residências com suas respectivas zonas e orientações (Grupo 02).	157
Figura 79 - Plantas baixas das residências com suas respectivas zonas e orientações (Grupo 02).	158
Figura 80 - Plantas baixas das residências com suas respectivas zonas e orientações (Grupo 02).	159
Figura 81 - Mapas VGA de integração por modelo considerando a análise de visibilidade com seus respectivos valores de graus-hora>26°C por zona, para a situação na qual as janelas permanecem sempre abertas.	160
Figura 82 - Mapas VGA de integração por modelo considerando a análise de visibilidade com seus respectivos valores de graus-hora>26°C por zona, para a situação na qual as janelas permanecem sempre abertas.	161
Figura 83 - Mapas VGA de integração por modelo considerando a análise de visibilidade com seus respectivos valores de graus-hora>26°C por zona, para a situação na qual as janelas permanecem sempre abertas.	162
Figura 84 - Mapas VGA de integração por modelo considerando a análise de permeabilidade com seus respectivos valores de graus-hora>26°C por zona, para a situação na qual as janelas permanecem sempre abertas.	163
Figura 85 - Mapas VGA de integração por modelo considerando a análise de permeabilidade com seus respectivos valores de graus-hora>26°C por zona, para a situação na qual as janelas permanecem sempre abertas.	164
Figura 86 - Mapas VGA de integração por modelo considerando a análise de permeabilidade com seus respectivos valores de graus-hora>26°C por zona, para a situação na qual as janelas permanecem sempre abertas.	165

Figura 87 - Mapas convexos de integração por modelo considerando a análise de permeabilidade.	167
Figura 88 - Mapas convexos de integração por modelo considerando a análise de permeabilidade.	168
Figura 89 - Mapas convexos de integração por modelo considerando a análise de permeabilidade.	169
Figura 90 - Mapas VGA de conectividade por modelo considerando a análise de visibilidade com seus respectivos valores de graus-hora>26°C por zona, para a situação na qual as janelas permanecem sempre abertas.	170
Figura 91 - Mapas VGA de conectividade por modelo considerando a análise de visibilidade com seus respectivos valores de graus-hora>26°C por zona, para a situação na qual as janelas permanecem sempre abertas.	171
Figura 92 - Mapas VGA de conectividade por modelo considerando a análise de visibilidade com seus respectivos valores de graus-hora>26°C por zona, para a situação na qual as janelas permanecem sempre abertas.	172
Figura 93 - Grafos justificados para cada sistema configuracional residencial. A raiz do sistema (porta de entrada principal) situa-se no primeiro nível de profundidade	173
Figura 94 - Grafos justificados para cada sistema configuracional residencial. A raiz do sistema (porta de entrada principal) situa-se no primeiro nível de profundidade.	174
Figura 95 - Grafos justificados para cada sistema configuracional residencial. A raiz do sistema (porta de entrada principal) situa-se no primeiro nível de profundidade.	175
Figura 96 – Graus-hora>26°C anual por zona – Grupo 01.....	181
Figura 97 – Graus-hora>26°C anual por zona – Grupo 02.....	181
Figura 98 – Integração média por zona – Grupo 01.....	182
Figura 99 – Integração média por zona – Grupo 02.....	182
Figura 100 – Valores de conectividade média por zona – Grupo 01... ..	183
Figura 101 - Valores de conectividade média por zona – Grupo 02. ...	183
Figura 102 – Valores médios de trocas de ar por zona – Grupo 01. ...	184
Figura 103 – Valores médios de trocas de ar por zona – Grupo 02. ...	184

Figura 104 – Valores extraídos por zonas para o Grupo 01. Escala Logarítmica.....	185
Figura 105 – Valores extraídos por zonas para o Grupo 02. Escala Logarítmica.....	185
Figura 106 – Índice de fechamento por casa – Grupo 01.	186
Figura 107 - Índice de fechamento por casa – Grupo 02.....	186
Figura 108 – Índice de funcionalidade por casa – Grupo 01.....	187
Figura 109 - Índice de funcionalidade por casa – Grupo 01.....	187
Figura 110 – Percentual de abertura na fachada por modelo – Grupo 01.	188
Figura 111 - Percentual de abertura na fachada por modelo – Grupo 02.	188
Figura 112 - Valores médios extraídos por zonas para o Grupo 01. Escala Logarítmica.....	189
Figura 113 – Valores médios extraídos por zonas para o Grupo 02. Escala Logarítmica.....	189
Figura 114 – Conectividade versus Trocas de ar (ach), 01 Pavimento.....	191
Figura 115 - Conectividade versus Trocas de ar (ach), 02 Pavimentos.	191
Figura 116 – Integração/permeabilidade versus Trocas de ar (ach) para residências com 01 pavimento.	192
Figura 117 - Integração/visibilidade versus Trocas de ar (ach) para residências com 01 pavimento.	192
Figura 118 - Integração/permeabilidade versus Trocas de ar (ach) para residências com 02 pavimentos.....	192
Figura 119 - Integração/visibilidade versus Trocas de ar (ach) para residências com 02 pavimentos.....	192
Figura 120 – Índice de Fechamento versus trocas de ar anuais (ach), 01 pavimento.....	192
Figura 121 - Índice de Fechamento versus trocas de ar anuais (ach), 02 pavimentos.	192
Figura 122 - Índice de Funcionalidade versus trocas de ar anuais (ach), 01 pavimento.....	193
Figura 123 - Índice de Funcionalidade versus trocas de ar anuais (ach), 02 pavimentos.....	193
Figura 124 – Índice de Fechamento versus Graus-hora>26°C, janelas abertas (01 pavimento).....	194

Figura 125 - Índice de Fechamento versus Graus-hora>26°C, janelas fechadas (01 pavimento).....	194
Figura 126 - Índice de Fechamento versus Graus-hora>26°C, janelas abertas (02 pavimentos).	194
Figura 127 - Índice de Fechamento versus Graus-hora>26°C, janelas fechadas (02 pavimentos).	194
Figura 128 - Índice de Funcionalidade versus Graus-hora>26°C, janelas abertas (01 pavimento).....	196
Figura 129 - Índice de Funcionalidade versus Graus-hora>26°C, janelas fechadas (01 pavimento).....	196
Figura 130 - Índice de Funcionalidade versus Graus-hora>26°C, janelas abertas (02 pavimentos).	196
Figura 131 - Índice de Funcionalidade versus Graus-hora>26°C, janelas fechadas (02 pavimentos).	196
Figura 132 - Integração/permeabilidade versus Graus-hora (01 pavimento).....	197
Figura 133 - Integração/visibilidade versus Graus-hora (01 pavimento).	197
Figura 134 - Integração/permeabilidade versus Graus-hora (02 pavimentos).....	197
Figura 135 - Integração/visibilidade versus Graus-hora (02 pavimentos).	197
Figura 136 - Conectividade X Graus-hora>26°C, janelas sempre abertas (01 pavimento).....	198
Figura 137 - Conectividade X Graus-hora>26°C, janelas sempre abertas (02 pavimentos).	198
Figura 138 - Conectividade X Graus-hora>26°C, janelas sempre fechadas (01 pavimento).....	198
Figura 139 - Conectividade X Graus-hora>26°C, janelas sempre fechadas (02 pavimentos).	198
Figura 140 - PAft versus trocas de ar anuais (ach), 01 pavimento....	198
Figura 141 - PAft versus trocas de ar anuais (ach), 02 pavimentos... ..	198
Figura 142 - PAft versus Graus-hora>26°C, janelas sempre abertas, para residências com 01 pavimento.	200
Figura 143- PAft versus Graus-hora>26°C, janelas sempre fechadas, para residências com 01 pavimento.	200

Figura 144 - PAFt versus Graus-hora>26°C, janelas sempre abertas, para residências com 02 pavimentos.....	200
Figura 145 - PAFt versus Graus-hora>26°C, janelas sempre fechadas, para residências com 02 pavimento.	200

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado Parâmetro 2. Fonte: Castro e Toledo (2011).	62
Tabela 2 - Resultado Parâmetro 3. Fonte: Castro e Toledo (2011).	62
Tabela 3 - Resultado Parâmetro 4. Fonte: Castro e Toledo (2011).	62
Tabela 4 - Resultado Final do Vento Sudeste. Fonte: Castro e Toledo (2011).	63
Tabela 5 - Estratégias bioclimáticas por ZB. Fonte: ABNT, 2005.	70
Tabela 6 - Pré-requisitos de absorção solar, transmitância térmica e capacidade térmica para as diferentes Zonas Bioclimáticas adotados pelo RTQ-R, baseada na NBR 15.575-4, NBR 15.575-5 e NBR 15220-3. Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL, 2011.	76
Tabela 7 – Organizações e softwares participantes do BESTTEST. Fonte: NREL/TP-550-30152 (2002).	78
Tabela 8 – Propriedades térmicas e ópticas utilizadas nos modelos simulados, baseados em aspectos construtivos comuns da amostra coletada. Fonte: LABEEE (2010); ABNT (2005).	114
Tabela 9 – Projetos de residências selecionados para o projeto piloto.	126
Tabela 10 – Valores de medidas de sintaxe espacial e desempenho térmico obtidos no estudo piloto por zona ou por casa.	135
Tabela 11 – Modelos e características de seus respectivos projetos arquitetônicos base.	142
Tabela 12 - Valores de medidas de sintaxe espacial e desempenho térmico obtidos na pesquisa por zona ou por modelo (Grupo 01).	153
Tabela 13 - Modelos e características de seus respectivos projetos arquitetônicos base.	154
Tabela 14 - Valores de medidas de sintaxe espacial e desempenho térmico obtidos na pesquisa por zona ou por modelo (Grupo 02).	177

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACH – *Air changes per hour*
ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers*
BESTTEST – *Building Energy Simulation Tests*
CFD – *Computational Fluid Dynamics*
Ghr – Graus-hora para resfriamento
HH – *Hiller & Hanson*
LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações
NBR 15575 – Desempenho de edificações habitacionais com até cinco pavimentos
PAFt - Percentual de área de abertura na fachada total
PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
EPW – *Energyplus Weather Data*
RTQ-C - Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-R - Regulamento Técnico de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais
TFG – Trabalho Final de Graduação
VGA – *Visibility Graph Analysis*
ZB – Zona Bioclimática

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	30
1.1.	MOTIVAÇÕES, JUSTIFICATIVAS E RELEVÂNCIA DO TEMA.	33
1.2.	OBJETIVOS	36
1.2.1.	Objetivo geral.....	36
1.2.2.	Objetivos específicos.....	36
1.3.	ESTRUTURA DO TRABALHO	37
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	39
2.1.	CONFORTO TÉRMICO	39
2.1.1.	Organismo humano e metabolismo	39
2.1.2.	Variáveis do conforto térmico	41
2.2.	ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA.....	44
2.2.1.	Cartas bioclimáticas (Psicrométricas)	45
2.2.1.	O clima de Natal.....	47
2.2.2.	Características arquitetônicas que afetam o clima interior	52
2.2.2.1.	Considerações acerca da forma arquitetônica	53
2.2.3.	Ventilação natural.....	58
2.2.3.1.	Características arquitetônicas que afetam a ventilação natural.....	60
2.3.	DESEMPENHO TÉRMICO.....	65
2.3.1.	Propriedades dos materiais	66
2.3.2.	Parâmetros de ventilação natural.....	67
2.3.3.	Desempenho térmico de edificações.....	70
2.3.4.	Simulação computacional	77
2.3.4.1.	PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO DE VENTILAÇÃO ...	79
2.4.	Teoria da sintaxe espacial	81

2.4.1.	Fundamentos e conceitos básicos da teoria da sintaxe espacial.....	82
2.4.2.	Medidas e interpretações.....	94
2.4.3.	Estudos de caso	102
3.	METODOLOGIA.....	111
3.1.	PROCEDIMENTOS DE SIMULAÇÃO	113
3.1.1.	Procedimentos da análise térmica	113
3.1.2.	Procedimentos da análise espacial	120
3.1.	CONFRONTAÇÃO DE DADOS DAS ANÁLISES	123
3.2.	ESTUDO PILOTO	124
3.3.	COLETA DE DADOS DA AMOSTRA FINAL.....	125
4.	RESULTADOS.....	126
4.1.	ESTUDO PILOTO	126
4.1.1.	Apresentação e análise dos dados.....	127
4.1.2.	Discussão dos resultados estudo piloto.....	136
4.2.	RESULTADOS DA AMOSTRA COMPLETA	141
4.2.1.	Residências com um pavimento (Grupo 01).....	142
4.2.1.1.	Apresentação e análise dos dados.....	142
4.2.2.	Residências com dois pavimentos (Grupo 02).....	154
4.2.2.1.	Apresentação e análise dos dados.....	155
4.3.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS FINAIS.....	180
5.	CONCLUSÕES GERAIS	201
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	204
7.	APÊNDICE A – Fichas por modelo simulado	211

1. INTRODUÇÃO

As edificações residenciais são umas das que mais consomem energia, considerando o universo brasileiro de edificações. Segundo o balanço energético nacional de 2011 (BEN, 2012), o consumo energético das residências no Brasil representa 9,4% da energia total consumida no país. O setor em questão apresenta o segundo maior percentual de consumo de energia, somente atrás do setor de transportes (30,0%) e atrás apenas da indústria (35,8%), conforme verificado através da Figura 1. Já com relação ao consumo apenas de eletricidade, o percentual de consumo relacionado às edificações residenciais sobe para 24% (Figura 2), atrás apenas do setor industrial, com 44% do consumo de eletricidade no país, no ano de 2011. Desse modo, faz-se importante uma economia de energia nessas edificações de consumo tão representativo, tendo em vista o atual momento global, de preocupação ambiental e de substituição de fontes energéticas não renováveis por aquelas renováveis.

Quem usou a energia no Brasil em 2011

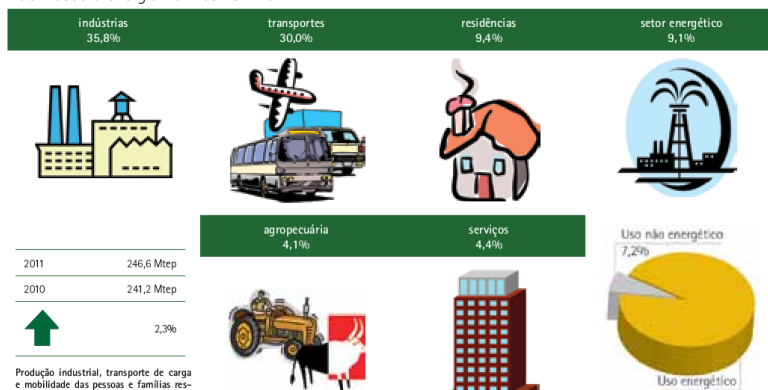


Figura 1 - Distribuição do consumo de energia no Brasil por setor. Fonte: BEN, 2012.

Consumo brasileiro de energia elétrica em 2011

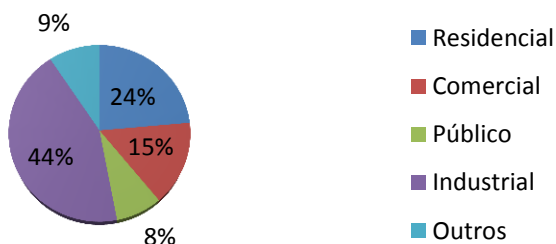


Figura 2 - Consumo percentual de energia elétrica por setor em 2011.

Fonte: adaptado de Ministério de Minas e Energia (BEN), 2012.

A participação de energias renováveis na Matriz Energética Brasileira situa-se entre as mais elevadas do mundo, porém, ainda com bastante espaço para crescer, tendo em vista o atual momento de preocupação ambiental mundial. Sendo assim, a matriz energética brasileira se divide conforme ilustrado através da Figura 3 e da Figura 4.

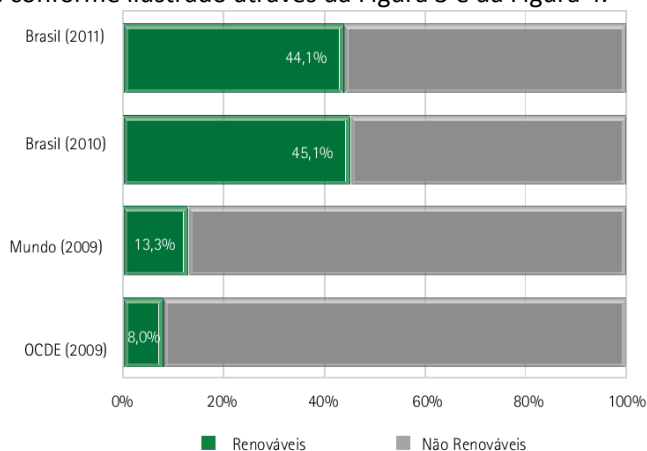


Figura 3 – Divisão das fontes de energia, ou matriz energética, brasileiras, no mundo e da OCDE por ano. Fonte: Ministério de Minas e Energia (BEN), 2012.

Repartição da oferta interna de energia



Figura 4 – Oferta de energia interna no Brasil por tipo de fonte. Fonte: Ministério de Minas e Energia (BEN), 2012.

Levando em consideração os fatos citados anteriormente a economia de energia em edificações é essencial nos dias atuais na busca de um mundo mais sustentável, ou em maior equilíbrio com a natureza. Desse modo, as construções contemporâneas levam em consideração, cada vez mais, o meio ambiente, buscando menores gastos energéticos e de recursos naturais, optando-se, de preferência, por fontes de energia renováveis.

Sabe-se que uma das principais estratégias de redução do impacto ambiental das edificações é o projeto arquitetônico, que pode reduzir até 2/3 do consumo de energia de edificações desde que decisões relacionadas à forma sejam tomadas adequadamente nas primeiras fases de projeto (PEDRINI, 2003). Como a intuição do projetista é importante, porém não é suficiente, é necessário explorar ferramentas que auxiliem à tomada de decisões projetuais quanto à eficiência energética, assim como de outros aspectos arquitetônicos. Sendo assim, a Sintaxe Espacial surge como uma alternativa, provendo novas ferramentas que possibilitam o estudo do espaço de modo sintetizado e mais aprofundado, considerando as relações entre os indivíduos habitantes do mesmo.

Com relação à possibilidade de aplicação da Sintaxe Espacial no processo de projeto, Hanson (1988, p. 44) ¹ afirma que “(...) *análises configuracionais podem ser uma adição útil às técnicas compositivas mais tradicionais para a crítica arquitetônica, como análises de proporção de uma edificação ou uma representação do partido*.”. O que leva a crer que essa ferramenta sintática pode ser bastante útil também auxiliando à tomada de decisões projetuais.

Regiões de clima tropical quente e úmido possuem um grande potencial na utilização da ventilação natural como estratégia de condicionamento passivo, a qual pode ser explorada de modo mais eficiente e integrada com demais sistemas ativos (ar-condicionado, ventiladores, etc), quando realmente necessários. Regiões como estas, em específico a cidade de Natal/RN, a qual será alvo da atual pesquisa, possuem climas relativamente amenos, com pequenas variações de temperatura ao longo do ano, umidade relativa alta e abundância de ventos, especialmente no quadrante sudeste.

Sendo assim, pretende-se com a atual pesquisa verificar e identificar possíveis relações entre fatores influenciados pelo clima, nesse caso em específico seria o desempenho térmico através da ventilação natural, e medidas provenientes da Sintaxe Espacial. Todos aplicados a residências projetadas para uma região de clima tropical quente e úmido, mais especificamente na cidade de Natal/RN, e seu entorno.

Por se tratar de um estudo exploratório, o qual não possui pretensões pré-estabelecidas, a atual pesquisa não parte de pressupostos formados, ou hipóteses, uma vez que se pretende explorar de modo livre as diversas medidas tanto da parte da Sintaxe Espacial, como do desempenho térmico.

1.1. MOTIVAÇÕES, JUSTIFICATIVAS E RELEVÂNCIA DO TEMA.

A ausência de estudos em desempenho térmico, os quais também considerem a questão da espacialidade em edificações, levou a autora a desenvolver a presente pesquisa. Espacialidade, nesse caso, seria

¹ Tradução livre de: “(...) *configurational analysis can be a useful adjunct to the more conventional compositional techniques for architectural criticism, such as an analysis of building proportion or a representation of the 'parti'*.” (Hanson, 1998).

compreendida como a relação entre permeabilidade física e visual de determinado espaço, tendo sua envoltória como um resultado da distribuição espacial, assim como suas consequências para a integração, legibilidade e apropriação dos espaços arquitetônicos pelos habitantes. Ou seja, seria, em resumo, a relação entre estrutura social e estrutura espacial de um espaço. Segundo Hillier & Hanson (1984, p. 26), *“A sociedade deve ser descrita em termos de sua espacialidade intrínseca; o espaço deve ser descrito em termos de sua sociabilidade intrínseca.”*². Sociabilidade que, por sua vez, pode se estabelecer entre distintos grupos de usuários dos espaços. No caso da presente pesquisa, os usuários considerados são moradores, funcionários, hóspedes e visitantes, uma vez que a mesma foca no estudo de residências.

Além da análise de permeabilidade, que permite identificar espaços mais segregados, com maior privacidade, ou mais integrados, de menor privacidade, na atual pesquisa será levada em consideração também a questão da análise visual do espaço. Sobre ela, Turner (2003) comenta: *“Podemos utilizar a análise visual para discutir sobre propriedades morfológicas do ambiente construído, ou para discutir sobre como as pessoas podem se mover ou interagir dentro do espaço visível, ou para descobrir a significância dos objetos dentro daquele espaço.”*³.

Considerando que as ferramentas atuais mais utilizadas para análise de questões relacionadas ao conforto nas edificações levam em consideração apenas fatores de quantificação geométrica, como por exemplo, razão entre área de piso e área de janela (constante normalmente nos planos diretores e/ou códigos de obras), proporção entre diferentes fachadas (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais - RTQ-R), Percentual de área de abertura da fachada – PAFt (Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de

² Tradução livre de: “Society must be described in terms of its intrinsic spatiality; space must be described in terms of its intrinsic sociality.” (Hillier & Hanson, 1984, p. 26).

³ Tradução livre de: “We might use visibility analysis to talk about morphological properties of the built environment, or to talk about how people can move or interact within the visible space, or to discover the significance of objects placed within that space.” (Turner, 2003).

Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C), ou W.W.R (Window Wal Ratio), percebeu-se que existe um potencial a ser explorado por ferramentas que levem em consideração a espacialidade, e, consequentemente, o movimento e a visibilidade. Fatores esses que estariam intimamente conectados com o modo como a ventilação natural se distribui dentro dos ambientes, uma vez que trabalham com cheios e vazios da estrutura espacial tridimensional, permitindo condicionamento passivo dos mesmos, ao mesmo tempo em que possibilitam o movimento e a visibilidade mútua.

Somado ao potencial para uso de novas ferramentas no ato projetual, já identificado anteriormente, foi percebido em estudo anterior, de autoria própria⁴, porém com número reduzido de edificações analisadas, que edificações que dão prioridade ao desempenho térmico (visando maior eficiência energética) acabam gerando formas que proporcionam maior socialização por parte dos habitantes.

A atual pesquisa foi então conduzida através do uso de softwares disponíveis na área de sintaxe espacial, *Depthmap*, e de simulação energética, *EnergyPlus*. A amostra de residências analisadas na pesquisa, representativa da arquitetura contemporânea de Natal/RN, foi submetida a ambas as análises espaciais e de desempenho térmico como modo de identificar se há padrões e como esses possíveis padrões espaciais se relacionariam com o número de horas de conforto térmico obtido durante todo o ano, considerando apenas o uso da ventilação natural. A autora da pesquisa espera então identificar tipos de espacialidade que configurariam soluções para a arquitetura residencial bioclimática, considerando relações entre os aspectos de desempenho térmico e de espacialidade.

Foram identificados alguns estudos na área de sintaxe espacial considerando integração visual em edificações (BECK & TURKIENICZ,

⁴ Estudo não publicado (“De fora para dentro. Análise espacial de residências contemporâneas em Natal/RN.”) conduzido em disciplina do programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) intitulada Morfologia do Ambiente Construído, orientado pela Profa. Phd Edja Trigueiro e pelo Prof. Phd Lucas Figueiredo.

2009; LU, PEPONIS & ZIMRING, 2009; KOCH, Daniel, 2012; TANIGUCHI, et al, 2012) assim como também na área de desempenho térmico de edificações naturalmente ventiladas (SORGATO, 2009; VERSAGE, 2009). Porém, não é conhecida a existência de estudos que mesclam ambas as linhas de pesquisa, o que se revela como algo inédito no campo dos estudos arquitetônicos.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

O objetivo geral é analisar soluções arquitetônicas de residências projetadas para clima tropical quente e úmido, explorando padrões decorrentes da forma construída e seu espaço resultante, por meio de medidas de sintaxe espacial e variáveis de desempenho térmico, essas relacionadas com o uso da ventilação natural. Por forma construída entende-se a composição espacial tridimensional, o volume, a caixa mural, a casca, a barreira, o envelope, ou a envoltória de uma edificação.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Realizar simulações energéticas e análises sintáticas, tornando possível apontar através dos resultados obtidos quais soluções arquitetônicas seriam termicamente mais eficientes para o tipo de clima em questão (tropical quente e úmido) e que proporcionariam maior, ou menor, interação social (conforme desejado), considerando o uso da ventilação natural e as variáveis de maior impacto sobre a mesma.
2. Aproximar e comparar medidas de sintaxe espacial e desempenho térmico extraídas nas simulações, buscando-se identificar padrões de comportamento dessas (correlações), como modo de enriquecer e aprofundar os conhecimentos de desenvolvimento de projeto arquitetônico.
3. Listar possíveis diretrizes de projeto, em âmbito tanto configuracional, considerando-se questões como permeabilidade, integração e profundidade, como em âmbito

formal, (bidimensional e tridimensional), as quais seriam mais favoráveis ao tipo de clima em questão (quente e úmido).

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos. A Introdução apresenta a colocação do problema, sua justificativa e relevância e os objetivos que se pretende alcançar. O segundo capítulo corresponde à Revisão Bibliográfica cujo intuito é construir a fundamentação teórica relativa à integração das questões de Conforto Ambiental, Arquitetura Bioclimática, Desempenho Térmico e Sintaxe Espacial na arquitetura. Além disso, são levantadas as ferramentas computacionais de avaliação de desempenho térmico e análise espacial, esta através da Sintaxe Espacial. No terceiro capítulo, detalham-se os procedimentos metodológicos adotados a fim de se atingir os objetivos da pesquisa, como os procedimentos de análise térmica e espacial, além da caracterização da amostra coletada. O quarto capítulo é constituído por uma descrição dos resultados alcançados e sua discussão. Primeiramente apresenta-se a evolução do estudo piloto, apresentando-se seus dados e discutindo resultados iniciais. Em seguida, tem-se a análise da amostra completa, a qual divide a mesma em dois grupos, residências com um pavimento (Grupo 01) e residências com dois pavimentos (Grupo 02) para somente depois discutir-se os resultados finais. Por fim, o último, quinto, capítulo apresenta as conclusões gerais da pesquisa. Na Figura 5, segue o mapa resumo do trabalho que ilustra o processo pelo qual se busca alcançar os objetivos estabelecidos pela pesquisa.



Figura 5 – Mapa resumo da atual pesquisa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONFORTO TÉRMICO

As questões de conforto térmico são fundamentais de serem exploradas na atual pesquisa uma vez que esse determina como se dará a avaliação das condições internas de conforto nas edificações analisadas, considerando fatores de desempenho térmico.

Sabe-se que o organismo humano é variável e diverso, e comporta-se de maneiras distintas em ambientes distintos. Porém, estudos na área apontam para padrões de comportamento mais típicos, os quais podem ser utilizados em eventuais pesquisas ligadas ao estudo da relação entre ser humano e espaço habitado.

2.1.1. Organismo humano e metabolismo

Por ser um animal homeotérmico, o organismo humano é mantido a uma temperatura interna sensivelmente constante da ordem de 37°C, com limites muito estreitos. Sendo 32°C o limite inferior e 42°C o limite superior para sobrevivência, em estado de enfermidade.

A energia térmica produzida pelo organismo humano advém de reações químicas internas, sendo a mais importante a combinação do carbono, introduzido no organismo sob a forma de alimentos, com o oxigênio, extraído do ar pela respiração. A esse processo de produção de energia interna a partir de elementos combustíveis orgânicos dá-se o nome de metabolismo.

Segundo Frota & Schiffer (2001):

“Cerca de 20% dessa energia é transformada em potencialidade de trabalho. Então, termodinamicamente falando, a “máquina humana” tem um rendimento muito baixo. A parcela restante, cerca de 80%, transforma-se em calor, que deve ser dissipado para que o organismo seja mantido em equilíbrio.”. (Frota & Schiffer, 2001, p. 19).

O calor produzido e o dissipado dependem da atividade desenvolvida pelo indivíduo. Em repouso absoluto o calor dissipado pelo corpo é de cerca de 75W. Porém, ao efetuar trabalho mecânico, os músculos contraem-se. Tal contração produz calor. A quantidade de calor liberado pelo corpo, por essa razão, será função do trabalho desenvolvido, podendo chegar a um máximo da ordem de 1200 W, desde que por pouco tempo. Logicamente que isso em condições extremas de atividade física, não relevante para o caso de uma edificação residencial.

O calor é dissipado através dos mecanismos de trocas térmicas entre o corpo e o ambiente, envolvendo as trocas secas — condução, convecção e radiação — e as trocas úmidas — evaporação. O calor perdido para o ambiente através das trocas secas é denominado calor sensível e é função das diferenças de temperatura entre o corpo e o ambiente. Já o calor perdido para o ambiente através das trocas úmidas é denominado calor latente e envolve mudança de estado de agregação — o suor, líquido, passa para o estado gasoso, de vapor, através da evaporação. Assim, o organismo perde calor para o ambiente sob duas formas: calor sensível e calor latente.

A transpiração à superfície da pele e nos pulmões, que constitui um fenômeno normal, e a exsudação, que é um recurso termorregulador, absorvem calor do corpo. Desse modo, a quantidade de suor que pode evaporar na unidade de tempo depende da umidade relativa e da velocidade do ar. As perdas de energia representadas pelo calor latente correspondem à dissipação através das perdas de vapor d'água pela respiração ou pela perspiração, ou através da evaporação do suor, e equivalem ao calor que se libertaria proporcionando a condensação dessa quantidade de vapor d'água que se mantém no ar.

Sendo assim, essa capacidade humana de auto-regulação térmica, no caso dos ambientes quentes, que é o caso específico da atual pesquisa, pode ou não ser incentivada pelo ambiente, ou espaço habitado. Edificações bioclimáticas construídas em climas tropicais devem então levar em consideração essa capacidade de auto-regulação térmica humana proporcionada de preferência de forma passiva, fazendo uso de estratégias ativas (ar-condicionado, ventilação mecânica) somente em último caso.

2.1.2. Variáveis do conforto térmico

As condições de conforto térmico de um indivíduo dependem de uma série de variáveis, considerando questões adequadas de vestimenta e de saúde, ou aclimação. Sabe-se também que condições ambientais distintas podem proporcionar conforto térmico aos indivíduos dependendo do tipo de clima, por exemplo, clima quente e úmido ou quente e seco. Ou até mesmo em climas temperados ou frios as estratégias de controle bioclimático são distintas.

Através de estudos desenvolvidos na área de conforto térmico, a norma 55-2010 (ANSI/ASHRAE, 2010) aponta para o controle de basicamente seis fatores primários ambientais para obtenção de um ambiente confortável para o usuário: temperatura do ar (°C); umidade relativa (%); velocidade do ar (m/s); e temperatura radiante média (°C), isolamento térmico através da vestimenta (clo) e taxa metabólica (W/s ou met).

Ainda segundo a norma 55-2010 (ANSI/ASHRAE, 2010) há diferentes métodos para determinar condições térmicas aceitáveis em espaços ocupados, os quais são listados em seguida:

- Temperatura operativa: A zona de conforto pode ser definida através de uma variação de temperaturas operativas, as quais proporcionam condições térmicas ambientais aceitáveis através da combinação da temperatura do ar e a temperatura radiante média que as pessoas acham aceitáveis.
- Limites de umidade: Estabelece limites de umidade abaixo da razão de umidade de $0.012 \text{ kg}/H_2O$ e temperatura de ponto de orvalho de $16,8^\circ\text{C}$. Não estabelece nível mínimo de umidade.
- Velocidade do ar elevada: Permite elevada velocidade do ar para aumentar a temperatura operativa máxima para aceitabilidade, sendo respeitadas certas condições. Os limites impostos dependem de fatores ambientais e humanos e se os ocupantes possuem controle local da velocidade do ar.
- Desconforto térmico localizado: Causado por uma diferença vertical de temperatura entre a região dos pés e da cabeça. Pode ser causado por assimetria de campo radiante, por resfriamento convectivo localizado, ou pelo contato com um piso quente ou frio.

- Variação de temperatura ao longo do tempo: Flutuações na temperatura do ar ou da temperatura radiante média ao longo do dia podem afetar o conforto térmico dos ocupantes.

Há ainda um método opcional, detalhado na norma 55-2010 (ANSI/ASHRAE, 2010), para determinar condições térmicas aceitáveis em espaços naturalmente condicionados, ou ventilados, nos quais as condições de conforto podem ser reguladas pelo usuário através do fechamento ou abertura de janelas, ou no máximo o uso de ventilação mecânica (Figura 6). É indicado para usuários com taxas de metabolismo entre 1.0 e 1.3 met e com capacidade de alteração da vestimenta. Não há limites de velocidade do ar nem de umidade quando essa opção for utilizada.

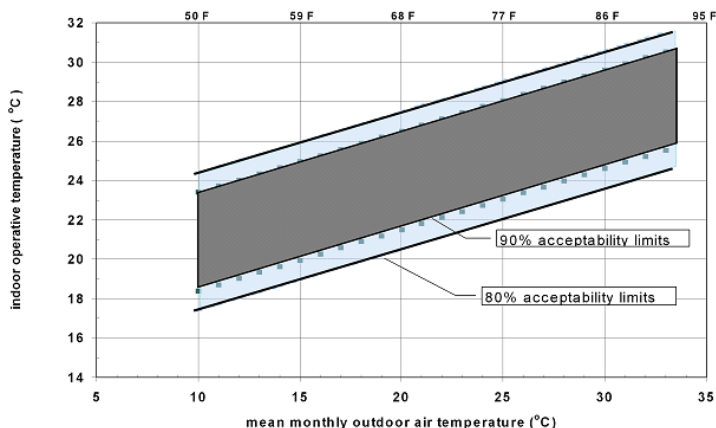


Figura 6 – Faixa de temperaturas operativas aceitáveis para ambientes condicionados naturalmente. Fonte: ANSI/ASHRAE, 2010.

Sendo assim, levando em conta todas as possíveis alterações de estado de conforto térmico detectadas, as variáveis térmicas a serem consideradas na determinação do conforto térmico ambiental são definidas pela norma como sendo:

- Temperatura do ar - Temperatura média ao redor do ocupante;

- Temperatura do ar localizada - Temperatura do ar localizada próxima ao ocupante, pelo menos a medição em uma localização é necessária, ou ainda de múltiplos pontos;
- Temperatura radiante média - É a temperatura de um objeto uniformemente negro o qual troca a mesma quantidade de radiação térmica com o ocupante, assim como o objeto real. Deve ser considerada a média espacial das temperaturas das superfícies que cercam o ocupante através dos fatores de visão do mesmo;
- Temperatura operativa - É a média entre as temperaturas do ar e a temperatura radiante média de um ambiente;
- Assimetria radiante - É a diferença entre os planos de temperatura radiante situados em direções opostas;
- Temperatura do piso - Temperatura do piso quando em contato com os sapatos dos ocupantes;
- Temperatura externa média mensal - Média aritmética entre a temperatura média mínima e a temperatura média máxima diárias do exterior para o mês em questão;
- Velocidade do ar - a média da velocidade do ar, relacionada ao tempo e à localização, ao qual o ocupante do ambiente está exposto;
- Umidade - Referência geral para o teor de umidade do ar extraída a partir de diversas variáveis termodinâmicas como pressão de vapor, temperatura de orvalho, e razão de umidade.

O conhecimento de todas essas variáveis térmicas são de importância para a atual pesquisa, uma vez que as simulações de desempenho térmico dependem indiretamente dessas medidas. Porém, apenas uma dessas, a variável Temperatura Operativa será analisada na atual pesquisa, tendo em vista que a mesma será utilizada como indicador de desempenho térmico dos modelos (projetos) a serem simulados, sendo contabilizado o número de Graus-hora anuais acima de temperatura operativa máxima estabelecida em literatura como sendo confortável para o convívio humano mais a frente. Variáveis como velocidade do ar e umidade são igualmente importantes, porém, não serão alvos de análise no presente estudo.

Deve-se, porém, atentar também para o fato de que a sensação de conforto térmico humano pode ser subjetiva e até psicológica, não sendo suficientes os padrões e análises determinados anteriormente para a predição de conforto ambiental. Conforme concluído pelos pesquisadores Bravo & Gonzalez (2003), em estudo específico, que nem sempre as condições térmicas de um ambiente se refletem nas escalas de percepção, aceitação e preferência dos habitantes, sendo algumas vezes influenciadas por aspectos construtivos ou afetivos com relação à edificação.

2.2. ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

A Arquitetura Bioclimática propõe o uso de estratégias de refrigeração e aquecimento das edificações de modo passivo, ou seja, fazendo uso dos próprios recursos naturais disponíveis no local para a obtenção de conforto térmico, visual e acústico. Partindo dessa premissa seria importante explorar com maior detalhe essas estratégias sugeridas pela Arquitetura Bioclimática, com ênfase para regiões de clima quente e úmido, onde se sabe que o uso da ventilação natural para condicionamento é quase que essencial.

Seguindo essa temática, Yeang (Hamzah and Yeang 1994, APUD Pedrini 2003) prescreve algumas soluções arquitetônicas bioclimáticas para edificações em regiões de clima quente e úmido:

- Posição do núcleo: pode atuar como uma zona de amortização nas fachadas leste e oeste;
- Posição das janelas: janelas localizadas nas fachadas norte e sul;
- Recessos profundos: proporciona sombreamento;
- Espaços de transição: uso de varandas promove sombreamento;
- Paredes externas permeáveis (para ventilação natural);
- Piso térreo condicionado passivamente: atua como uma interface entre o exterior e o interior;
- A planta da edificação: estimula o movimento do ar interno;
- Plantas e paisagismo: efeito de resfriamento;
- Sombreamento solar: uso de dispositivos passivos;
- Ventilação cruzada;
- Isolamento térmico das vedações;
- Massa térmica estrutural.

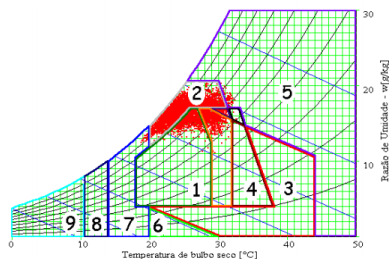
Analisando-se tais princípios, percebe-se então, de modo resumido, que a forma arquitetônica, a orientação, os materiais adotados, a presença de vegetação, a permeabilidade à ventilação e a planta da edificação estabelecem-se como peças chave para se projetar uma edificação bioclimática em clima tropical quente e úmido.

Muitas outras publicações na área da arquitetura bioclimática para climas quente e úmido (GIVONI, 1998; HOLANDA, 2010; LENGEN, 2008; OLGAY, 1963) sugerem diretrizes semelhantes às mencionadas. Entretanto, existem ferramentas mais científicas e quantificáveis, as quais exploram fatores ambientais que podem igualmente auxiliar os arquitetos na hora da escolha das melhores estratégias bioclimáticas para o clima que se pretende habitar. Algumas dessas ferramentas são mais detalhadas a seguir.

2.2.1. Cartas bioclimáticas (Psicrométricas)

As cartas bioclimáticas desenvolvidas por Givoni (1998) são baseadas nas temperaturas internas das edificações, ao invés das temperaturas externas. Essas são desenhadas sobre cartas psicrométricas convencionais - as quais levam em consideração variáveis climáticas como temperatura do ar, umidade relativa e teor de umidade - e determinam uma zona de conforto humana, considerando a influência das diversas estratégias bioclimáticas disponíveis.

Segundo Givoni (1998), as cartas bioclimáticas sugerem limites de condições climáticas dentro das quais estratégias de desenho arquitetônico, assim como sistemas passivos e de baixo consumo para refrigeração, podem proporcionar conforto interno em climas quentes sem uso de ar-condicionado. Algumas dessas opções são: ventilação natural, massa térmica, e resfriamento evaporativo direto ou indireto. A Figura 7 apresenta carta bioclimática adaptada para a cidade de Natal/RN, alvo da pesquisa, sugerindo estratégias climáticas a serem adotadas nas edificações.



1- Zona de Conforto; 2 - Ventilação; 3 - Resfriamento Evaporativo; 4 - Massa Térmica para Resfriamento; 5 - Ar Condicionado; 6 - Umidificação; 7 - Massa Térmica e Aquecimento Solar Passivo; 8 - Aquecimento Solar Passivo; 9 - Aquecimento Artificial

Figura 7 – Carta Bioclimática Natal/RN.
Fonte: GOULART, Solange ET AL. (1998).

CONFORTO		14,7
DESCONFORTO	V	83,5
	Calor RE	13,6
	MR	15,2
	AC	0,9
	MA/AS	0,5
	Frio AS	0
	AA	0

- V → Ventilação
- RE → Resfriamento Evaporativo
- MR → Massa térmica para Resfriamento
- AC → Ar Condicionado
- MA/AS → Massa térmica para Aquecimento / Aquecimento Solar
- AS → Aquecimento Solar
- AA → Aquecimento Artificial

Figura 8 – Estratégias Bioclimáticas para Natal/RN (%).
Fonte: GOULART, Solange ET AL. (1998).

Segundo o programa Analysis Bio o percentual do número de horas de conforto obtidas naturalmente na cidade de Natal/RN é de apenas 14,7%. Observa-se a predominância das horas de desconforto, sendo a estratégia ventilação como a mais indicada em 83,5% dos casos de desconforto térmico, seguida pelo resfriamento evaporativo (13,6%), pela massa térmica para resfriamento (15,2%) e ar condicionado (0,9%). O desconforto causado pelo frio é proporcionalmente muito baixo, tendo-se a estratégia massa térmica para aquecimento/aquecimento solar indicada para apenas 0,5% dos casos. Tal situação descrita é mais bem ilustrada através da Figura 8.

A proposta da ASHRAE 55 (ANSI/ASHRAE, 2010), conforme mencionada anteriormente (Figura 6), estabelece uma faixa de temperaturas operativas aceitáveis para ambientes condicionados naturalmente. Considerando que as temperaturas médias mensais em Natal situam-se na faixa entre os 25°C e os 30°C, as temperaturas operativas aceitáveis segundo a ASHRAE 55 estariam entre os 23°C e os 29°C (para 90% dos casos) e entre os 22°C e os 30,5°C (para 80% dos casos). Desse modo, a ventilação, estratégia mais indicada para os casos de desconforto térmico em Natal/RN, deveria operar proporcionando temperaturas operativas estabelecidas dentro dos limites mencionados.

Desse modo, a ventilação, apontada como a principal estratégia de refrigeração para o clima de Natal/RN, foi escolhida para ser analisada através de simulações de desempenho térmico na atual pesquisa, essas mais detalhadas posteriormente na metodologia.

2.2.1. O clima de Natal

A cidade de Natal possui um clima tido como ameno durante quase todo o ano. A amplitude térmica não é muito acentuada, as temperaturas médias anuais situam-se bastante próximas à faixa de conforto (ASHRAE Standard 55-2004), entre os 24°C e os 28°C, conforme comentado no tópico anterior. Tal fato pode ser observado em detalhes através da Figura 9.

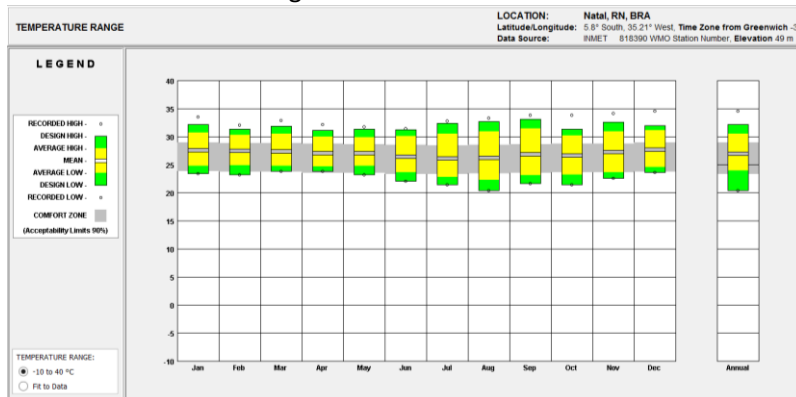


Figura 9 – Variação mensal de temperatura com faixa de conforto sobreposta (ASHRAE Standard 55-2004). Fonte: Climate Consultant, obtido através de arquivo climático 'RN_Natal.epw' (www.labee.ufsc.br).

O regime de ventos em Natal é bastante constante, variando as velocidades médias anuais entre 2m/s e 7m/s. O que possibilita o uso da ventilação natural durante praticamente todo o ano (Figura 10).

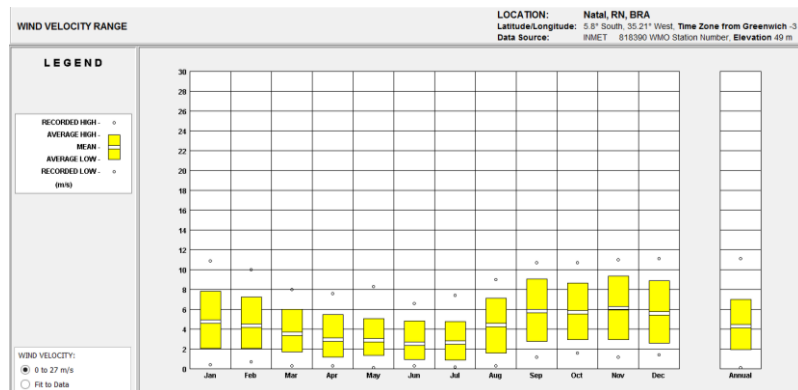


Figura 10 – Variação mensal da velocidade do vento em Natal/RN. Fonte: Climate Consultant, obtido através de arquivo climático 'RN_Natal.epw' (www.labee.ufsc.br).

A Figura 11 apresenta a rosa dos ventos para a cidade de Natal com a distribuição da incidência dos ventos por orientação, velocidade e percentagem de predomínio de horas de ocorrência por ano (de Janeiro a Dezembro). Além disso, também informa as faixas de temperatura e de humidade relativa dos ventos provenientes de cada orientação. Desse modo, percebe-se que os ventos predominantes são provenientes do quadrante Sudeste e os mais velozes concentram-se entre os quadrantes Nordeste e Sudeste. As temperaturas dos ventos situam-se na faixa dos 22°C a 24°C e a humidade relativa acima dos 70% na maior parte do tempo.

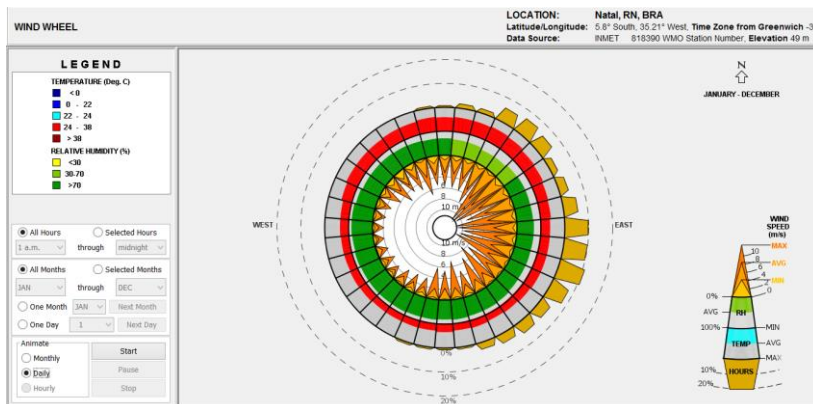


Figura 11 – Rosa dos ventos com distribuição horaria da incidência dos ventos. Fonte: Climate Consultant, obtido através de arquivo climático 'RN_Natal.epw' (www.labee.ufsc.br).

A umidade relativa (RH) é quase sempre alta, com exceção dos horários por volta das 12h00min (meio-dia), quando as temperaturas diárias geralmente atingem seus picos, e a mesma atinge mínimas de até 50%. Porém, passado esse período a umidade relativa (RH) volta a se situar entre os patamares de 80% a 90% (Figura 12).

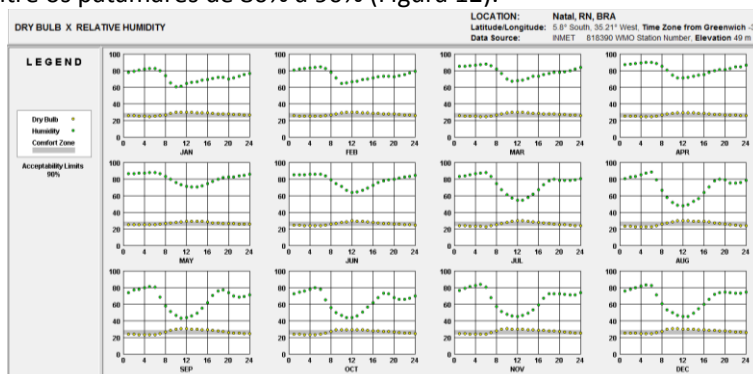


Figura 12 – Variação mensal de temperatura de bulbo seco versus umidade relativa de Natal/RN. Fonte: Climate Consultant, obtido através de arquivo climático 'RN_Natal.epw' (www.labee.ufsc.br).

O clima de Natal, devido à alta radiação anual necessita de sombreamento das aberturas em praticamente todas as horas de exposição anual, ou seja, cerca de 2300 horas anuais de

sombreamento. No período do verão ao outono, entre os meses de Dezembro a Junho, o sombreamento é necessário ao longo de praticamente todo o dia, das 06h às 18h. Com algumas exceções entre os meses de Setembro e Outubro, das 13h às 14h, onde o sombreamento apenas ajudaria e não seria necessário. No período do inverno à primavera, especificamente no mês de junho, apenas no início e no final do dia, o sombreamento seria necessário. Sendo assim, a exposição solar nunca seria desejável para o clima em questão. A Figura 13 e a Figura 14 mostram isso em maiores detalhes.

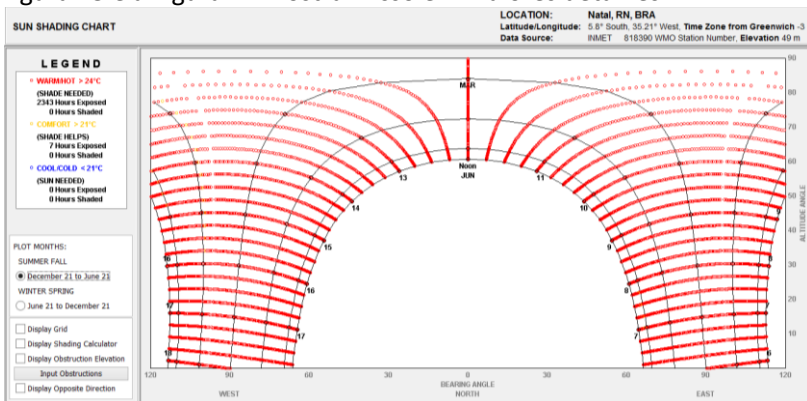


Figura 13 – Carta de sombreamento solar de Natal (do verão ao outono).
Fonte: Climate Consultant, obtido através de arquivo climático 'RN_Natal.epw' (www.labee.ufsc.br).

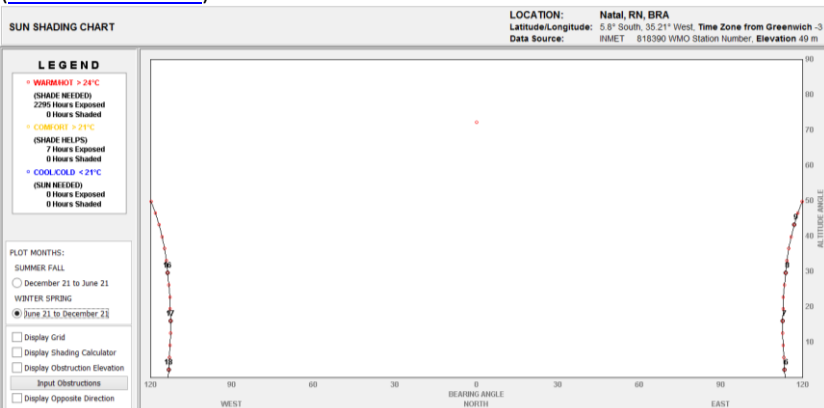


Figura 14 – Carta de sombreamento solar de Natal (do inverno a primavera).
Fonte: Climate Consultant, obtido através de arquivo climático 'RN_Natal.epw' (www.labee.ufsc.br).

Numa região onde a ventilação natural é tida como uma estratégia bioclimática das mais importantes é fundamental o conhecimento acerca da intensidade e direção dos ventos predominantes. Desse modo, o gráfico em seguida (Figura 15) apresenta a frequência mensal de direção dos ventos em Natal/RN.

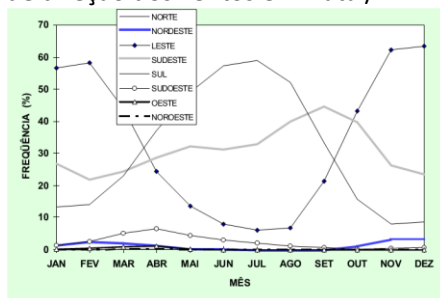


Figura 15 - Frequência mensal de direção do vento em Natal/RN. Fonte: GOULART, Solange et al. (1998).

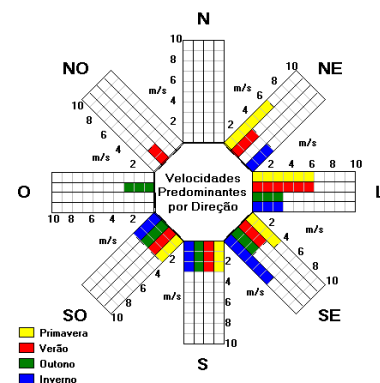


Figura 16 – Rosa dos Ventos para Natal/RN. Fonte: SOL-AR.

Observa-se através da Figura 15 e Figura 16 que os ventos do Sudeste são os mais frequentes e atingem maiores velocidades considerando o período anual, porém não se devem desconsiderar os ventos provenientes de outras orientações como a Sul e a Leste, as quais acabam atuando no mesmo quadrante sudeste. As demais orientações apresentam frequência mensal quase que insignificante. Tais leituras mostram um resultado um pouco diferente, menos detalhado, quando comparadas com a Figura 11, porém visivelmente semelhante.

A partir desses dados pode-se afirmar então que existe um regime de ventos interessante para Natal para se adotar a ventilação natural como estratégia, além de uma série de outras variáveis climáticas favoráveis a isso, como: umidade relativa, amplitude térmica e velocidade e constância dos ventos. Porém, deve-se atentar para o fato da importância do sombreamento das aberturas durante praticamente todo o tempo de exposição solar e a umidade relativa (RH) que pode cair no horário por volta do meio-dia, o que pode ser remediado com vegetação ou resfriamento evaporativo.

2.2.2. Características arquitetônicas que afetam o clima interior

Segundo Givoni (1998, p.49), as principais características de projeto as quais afetam as interações de uma edificação com o ambiente em que se encontra inserida são: O *layout* (forma) da edificação; a orientação e as condições de sombreamento das janelas; orientação e cores das paredes externas; o tamanho e a localização das janelas do ponto de vista da ventilação; e o efeito das condições de ventilação de uma edificação sobre suas temperaturas internas.

Considerando os impactos da forma das edificações no clima interior, o principal deles é o efeito na área de superfície de envoltória, relacionado à área de piso ou do volume de espaço e conseqüentemente na taxa de troca de calor da edificação com o exterior. Tendo também um efeito no potencial para ventilação e iluminação naturais.

Sabe-se que:

“quanto mais compacta a planta da edificação, menor a área de superfície exposta de paredes e de telhado, para um dado volume ou área de piso. Porém, em contraste, quando a planta da casa é mais espalhada, a maior superfície de paredes causa maior perda ou ganho de calor e um maior gasto de energia do ar-condicionado.” (Givoni, 1998, pg. 51).

Entretanto, segundo Olgyay (2008), quanto mais espalhada a edificação, ou seja, menos compacta, e mais irregular o seu formato, maior é o potencial para ventilação cruzada. Desse modo, edificações em regiões de clima quente e úmido, onde o uso da ventilação natural é praticamente intensivo, tende-se a adotar plantas mais espalhadas e menos compactas.

Consideradas tais premissas, são apresentados em seguida alguns estudos, atuais ou mais antigos, acerca da forma arquitetônica, um dos

principais pontos a serem levados em consideração na hora de se projetar uma edificação bioclimática, e alvo de análise através da presente pesquisa.

2.2.2.1.Considerações acerca da forma arquitetônica

A planta baixa da edificação e seus desdobramentos em termos de forma volumétrica têm influência direta nas condições de conforto interno e de desempenho térmico da construção, conforme já comentado anteriormente.

Olgyay (2008) define um tipo de forma arquitetônica a qual ele denomina como “forma ótima”. Essa seria a forma mais favorável de uma edificação para um determinado entorno. Seria aquela que ganha o mínimo de calor no verão e perde o mínimo de calor no inverno (Figura 17). Segundo o autor:

“Nas zonas mais frias, as baixas temperaturas invernais não são compensadas pela radiação solar, o que permitiria um desenvolvimento alongado na direção leste-oeste, portanto, é mais favorável tender para a definição de uma forma mais quadrada. (...) Nas zonas temperadas, onde a variação da temperatura permite uma planta mais flexível, a forma alongada resulta na mais adequada. (...) Nas regiões de clima quente e seco, as edificações em condições invernais poderiam ter uma forma alongada. Porém, as fortes tensões térmicas durante o verão fazem com que a forma quadrada seja a mais apropriada. (...) A planta pode desenvolver-se livremente ao redor de um jardim. (...) Nas regiões de clima quente e úmido do sul, o

sol ataca os extremos leste e oeste das edificações forçando seu desenvolvimento em uma planta estreita e alongada. As temperaturas não são excessivas e uma forma conforme a descrita pode ser benéfica para efeitos de ventilação.” (Olgyay, 2008, p. 90).

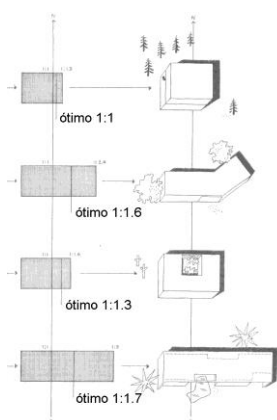


Figura 17 – Estudo de proporções conduzido por Olgyay já em 1963. OLGAY, 1998.

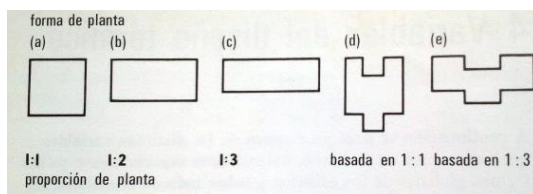


Figura 18 – Distintas formas de plantas empregadas nos estudos dos ábacos. BURBERRY, 1983.

É interessante observar que para cada tipo de clima, e até para condições climáticas específicas dentro de cada um deles, obtém-se formas arquitetônicas ideais tendo em vista um melhor desempenho térmico. Logicamente que também devem ser considerados fatores de massa e tamanho das edificações dentro dessa perspectiva de desempenho bioclimático.

Van Lengen (2008) igualmente aponta a forma arquitetônica como um ponto crucial do projeto de uma casa e apresenta alguns diferentes modos de se projetar uma residência. O mesmo parte de espaços necessários, ou célula básica, como cozinha e banheiro, os quais ele denomina “COBAN”, e vai desenvolvendo o projeto considerando

questões como orientação, acessos, usos, acréscimos, aspecto estético e clima.

Depecker ET AL (2001), por sua vez, afirmam que o consumo energético é inversamente proporcional à compacidade no caso de invernos severos com escassez de insolação. Porém, tal presunção não pode ser aplicada a climas mais amenos, o que leva a não recomendação de compacidade.

Há ainda estudos pioneiros da geometria arquitetônica como os desenvolvidos por Leslie Martin (1967), onde o mesmo questiona quais formas construtivas fazem o melhor uso do solo. Nesse caso, Martin (1967) conclui inicialmente que edificações altas são essenciais para o uso eficiente do solo. Porém, eram considerados apenas melhores modos de aproveitamento do espaço físico urbano e não como proporcionar estratégias bioclimáticas específicas. Com relação às dificuldades preliminares encontradas na época do estudo, e seu pioneirismo, Martin (1967, p. 10) ⁵ afirma: “(...) dentro desse esforço cooperativo o arquiteto tem uma tarefa especial: em minha opinião é o estudo das potencialidades da forma construída em uma maneira crescentemente racional e que estenda isso em todas as direções através de pensamento especulativo.”.

Já na década de 1970, Burberry (1983, p. 14) ⁶ se queixava, *“Na atualidade, quando os arquitetos desenham conscientemente um edifício, desde o ponto de vista térmico, há diminuído a qualidade do desenho, admitindo-se soluções que requerem um caro maquinário e altos custos de manutenção, o que é sempre a solução mais fácil.”*.

⁵ Tradução livre de: “(...) within that co-operative effort the architect has a special task: in my view it is to study the potentialities of the built form in an increasingly rational manner and to extend this everywhere by speculative thought.” (Martin, 1967, p. 10).

⁶ Tradução livre de: *“En la actualidad, cuando los arquitectos diseñan conscientemente el edificio, desde el punto de vista térmico, ha disminuido la calidad de diseño, admitiéndose unas soluciones que requieren una costosa maquinaria y unos gastos de mantenimiento altos, que es siempre la solución más fácil.”* (Burberry, 1983, p. 14).

Com relação à influência das dimensões arquitetônicas no desempenho térmico das edificações, Burberry (1983, p. 28) ⁷ já desenvolvia estudos de forma e volumetria (Figura 18, Figura 19 e Figura 20). A Figura 18 apresenta as formas de plantas arquitetônicas estudadas, a Figura 19 relaciona calor unitário necessário e proporção de planta baixa, e a Figura 20 relaciona perda de calor e proporção de planta baixa. Com relação a isso o mesmo afirma em seus estudos:

“Nos ábacos se estudam desde as plantas quadradas (a) às de proporção 1:3, com reentrâncias (e), originando um aumento de perda de calor de menos de 2%. Parece, no entanto, que variações de formas dentro desses limites não são tão significativas com relação a perdas de calor.”.
(Burberry, 1983, p. 28).

São desse modo, estudos semelhantes aos desenvolvidos por Olgyay (2008), conforme citado anteriormente, porém menos direcionados a tipos específicos de clima.

Ainda com relação às edificações em altura, Burberry (1983, p. 28) ⁸ afirma que *“(...) em edificações de vários pavimentos, sendo provável que neste caso aumentem-se as perdas de calor pela maior exposição dos edifícios altos, aumentando provavelmente também os custos com energia há que se fazer uso do ar-condicionado. (...)”.*

⁷ Tradução livre de: *“En lós ábacos se estudian desde la económica planta cuadrada (a) a la de proporciones 1.3, com retranqueos (e), originando un aumento de perdidas de calor de menos del 2%. Parece, por ló tanto, que unas variaciones de formas dentro de estos límites non son muy significativas en cuanto a las pérdidas de calor.”* (Burberry, 1983, p. 28).

⁸ Tradução livre de: *“(...) en edificios de varias plantas, siendo probable que en este caso aumenten las pérdidas de calor por la mayor exposición de los edificios altos, aumentando probablemente también los costes de energía si hay que emplear aire condicionado. (...)”* (Burberry, 1983, p. 28).

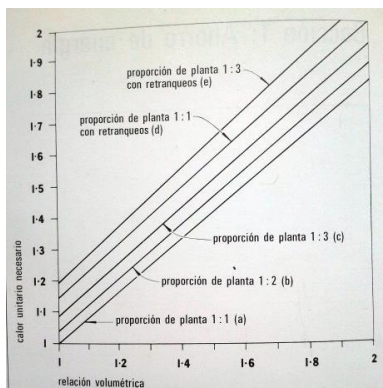


Figura 19 – Relação entre calor unitário necessário e proporção de planta baixa. Fonte: BURBERRY, 1983.

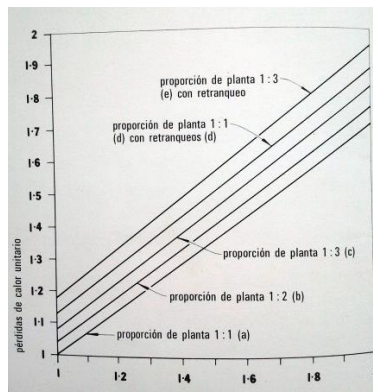


Figura 20 – Relação entre perda de calor e proporção de planta baixa. Fonte: BURBERRY, 1983.

No Brasil, já na década de 1970, Armando de Holanda (2010), de forma simples, recomendava um roteiro para se construir no nordeste brasileiro. Dentre as diretrizes apontadas como ideais para o tipo de clima tropical quente e úmido estavam: criar sombras (Figura 21); recuar paredes (Figura 22); vazar muros; proteger janelas (Figura 23); abrir as portas; continuar os espaços (Figura 24); construir com pouco; conviver com a natureza; e construir frondoso. Dentre essas sugestões de projeto muitas estavam diretamente ligadas com a forma construída ou a distribuição de espaços internos.

Algumas linhas da arquitetura bioclimática defendem ainda o uso de técnicas e estratégias de construção vernaculares, ou seja, aquelas pertencentes à arquitetura tradicional dos lugares. Como no estudo conduzido na Índia, país de clima tropical semelhante ao estudado, por Srivastav et al (2009), o qual conclui que técnicas tradicionais passivas provêm um alto nível de conforto ao longo de boa parte do dia, minimizando assim o uso de energia. Apesar de se identificarem problemas para adoção de certas estratégias no atual contexto, existem alternativas para adaptação de estratégias obtendo-se efeito semelhante ao obtido de modo tradicional.

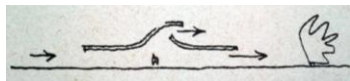


Figura 21 – Recomendação de projeto para se construir no Nordeste: criar uma sombra. HOLANDA, 2010.



Figura 22 - Recomendação de projeto para se construir no Nordeste: recuar as paredes. HOLANDA, 2010.

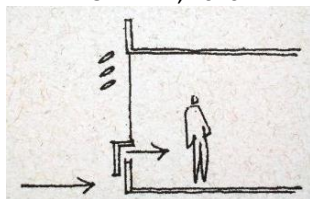


Figura 23 - Recomendação de projeto para se construir no Nordeste: proteger as janelas. HOLANDA, 2010.

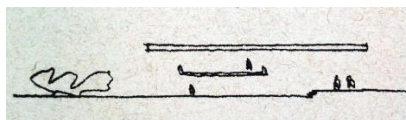


Figura 24 – Recomendação de projeto para se construir no Nordeste: continuar os espaços. HOLANDA, 2010.

Observa-se que muitas são as tentativas de se estudar a forma arquitetônica desde meados do século passado até os dias atuais, porém, pouco ainda se sabe acerca da influência da forma construída sobre os diversos campos de estudo da arquitetura. Considerando o paradigma atual da sustentabilidade e da economia de recursos naturais surge mais essa necessidade de se observar e compreender as influências detalhadas da forma arquitetônica sobre os gastos de recursos energéticos. Outro ponto pouco explorado, inclusive por estudiosos da forma arquitetônica citados na presente pesquisa, é a influência da distribuição interna das edificações no seu respectivo desempenho térmico. Alguns chegam a abordar o assunto, como Givoni (1998), porém muito superficialmente.

Desse modo, considerando-se tudo o que já foi estudado e todas as barreiras e dificuldades encontradas, a atual pesquisa surge como mais um modo de se tentar compreender a relação forma-desempenho térmico e de se gerar mais conhecimentos para os profissionais que trabalham com o complexo ofício de criar espaços.

2.2.3. Ventilação natural

É de conhecimento geral que em regiões de clima quente e úmido a ventilação natural é uma estratégia de condicionamento eficaz durante o ano inteiro.

Ventilar a edificação somente à noite pode resfriar a massa interna da edificação. Fechando-se as janelas durante o dia, a massa resfriada reduz a taxa de aumento da temperatura mantendo a temperatura interna significativamente abaixo da temperatura externa.

A ventilação natural atua especialmente através das janelas. Desse modo, o projeto da edificação para ventilação significa decisões do arquiteto com relação à localização, número, tamanho, orientação e detalhamento das aberturas.

O potencial de ventilação depende ainda da velocidade do vento ao redor da edificação, a qual é influenciada por dois fatores: o entorno urbano e detalhes do paisagismo circundante.

Segundo Givoni (1998, p. 88), a ventilação tem três funções principais: manter a qualidade do ar interno aceitável através das trocas de ar; fornecer conforto térmico em ambientes quentes através do aumento da perda de calor por convecção e prevenindo desconforto por excessiva umidade sobre a pele através do aumento da velocidade do ar sobre o corpo; e resfriar a massa estrutural da edificação durante a noite, utilizando a massa resfriada como um “dissipador de calor” durante as horas seguintes com o objetivo de manter a temperatura interna abaixo da externa.

A ventilação pode ainda ser originada pela força térmica ou pela força do vento. A ventilação através da força térmica parte do princípio de que a densidade e a pressão do ar são reduzidas quanto maior a altura, colocando em prática o fluxo térmico mais conhecido como “efeito termossifão”. A ventilação através da força do vento se dá pela criação de zonas de pressão e de sucção ao redor da edificação que sofre a ação direta do vento. Nesse caso, a diferença de pressão entre dois pontos da envoltória da edificação determina o potencial para ventilação quando aberturas são projetadas nesses pontos e considerando se o ar pode fluir dentro da edificação a partir de aberturas com maior pressão para aberturas expostas a zonas com menor pressão.

As janelas, assim como obstruções dentro do espaço ventilado, apresentam resistência ao fluxo de ar. O efeito dessa resistência reduz o fluxo de ar interno. Desse modo, faz-se crucial um bom dimensionamento das aberturas somado a uma boa distribuição dos

espaços internos, influenciando diretamente na configuração espacial das edificações.

2.2.3.1. Características arquitetônicas que afetam a ventilação natural

As principais características de projeto que afetam a ventilação natural são:

“tipo de edificação (especialmente residencial); orientação da edificação, especialmente das aberturas, com relação à direção dos ventos predominantes; área total de abertura nas regiões de pressão e sucção da envoltória; tipos de aberturas e detalhamento das mesmas; localização vertical de aberturas; obstruções internas ao fluxo de ar da abertura de entrada à saída; presença ou não de telas nas aberturas; e detalhes especiais os quais direcionam o ar dentro da edificação.”
(Givoni, 1998, p. 93).

Os tipos de edificação os quais Givoni (1998) se refere seriam: casa isolada; casa com mais de um pavimento; prédio de apartamentos altos com corredor único ou duplo; ou um prédio quadrado com quatro unidades. Ou seja, é bastante nítido o fato de que a forma como a edificação se configura é decisiva no comportamento do fluxo da ventilação natural em seu interior, apesar da limitação de tipos considerados.

Além dos tipos de configuração espacial, deve-se considerar ainda a importância das divisões internas da edificação, igualmente citada por Givoni (1988). Sendo assim, se as subdivisões internas da edificação permitem ventilação cruzada independente de ambientes individuais, melhor ventilação geral é produzida na edificação. Uma vez que o ar

tem que passar por mais de um ambiente no seu caminho desde a abertura de entrada até a de saída, ele encontra resistência adicional. A resistência ao ar depende do tamanho das aberturas interiores (portas e passagens internas) por onde o ar passa. Deve-se considerar ainda que alterações na direção do fluxo de ar ao longo do caminho, assim como contração e expansão do fluxo de ar enquanto esse atravessa as passagens internas, cria turbulência, aumenta a resistência do fluxo e reduz a taxa de fluxo de ar.

Foi identificado estudo na área da ventilação natural no Brasil (Castro e Toledo, 2011), conduzido em mesa d'água, no qual se analisa o comportamento dos ventos para edificação projetada na cidade Maceió/AL, cidade de clima bastante semelhante à Natal/RN, alvo da atual pesquisa. Foram realizados ensaios de ventilação em mesa d'água com maquetes vazadas e aplicação de uma equação para avaliação do resultado final do desempenho do vento Sudeste. Sendo assim, diagnosticou-se bom desempenho final da ventilação natural no sentido Sudeste, apesar de verificadas algumas deficiências em determinados pontos da edificação como no banheiro social, no depósito 2 e no roupeiro que não recebem escoamento do ar; e a suíte, a qual recebe escoamento apenas proveniente de outros ambientes.

No estudo em questão, Castro e Toledo (2011) estabelecem parâmetros de análise da qualidade da ventilação natural no interior de determinada residência, estabelecendo índices de desempenho para cada ambiente da edificação estudada. A metodologia proposta revela-se bastante interessante, conforme Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3.

Tabela 1 - Resultado Parâmetro 2. Fonte: Castro e Toledo (2011).

PARÂMETRO 2: ABRANGÊNCIA DO ESCOAMENTO				
0 Ausente – 1 Muito Restrita – 2 Restrita – 3 Média – 4 Ampla – 5 Muito Ampla				
AMBIENTE	DESEMPENHO	AMBIENTE	DESEMPENHO	
1. Varanda de Frente	95%	5	8. Roupeiro/Livros	0%
2. Quarto 01	69%	4	9. Depósito 02	0%
3. Quarto 02	43%	3	10. Banheiro Social	0%
4. Sala de Estar e Jantar	81%	5	11. Hall	64%
5. Varanda de Fundos	72%	4	12. Suíte	34%
6. Cozinha	84%	5	13. Banheiro Íntimo	17%
7. Depósito 01	52%	3	14. Sala de Leitura	67%
Casa 1	Desempenho geral de 65% da área do piso ventilada.			4

Tabela 2 - Resultado Parâmetro 3. Fonte: Castro e Toledo (2011).

PARÂMETRO 3: QUALIDADE DO ESCOAMENTO DO AR NOS AMBIENTES			
0 Nenhum – 1 Quase nenhum – 2 Poucos – 3 Alguns – 4 Muitos – 5 Quase todos			
AMBIENTE	DESEMP.	AMBIENTE	DESEMP.
1. Varanda de Frente	Sim	8. Roupeiro/Livros	Não
2. Quarto 01	Sim	9. Depósito 02	Não
3. Quarto 02	Sim	10. Banheiro Social	Não
4. Estar / Jantar	Sim	11. Hall	Sim
5. Varanda de Fundos	Sim	12. Suíte	Não
6. Cozinha	Sim	13. Banheiro Íntimo	Não
7. Depósito 01	Sim	14. Sala de Leitura	Sim
Casa 1	Desempenho geral de 64% dos ambientes c/ boa qualidade do ar.		
			4

Tabela 3 - Resultado Parâmetro 4. Fonte: Castro e Toledo (2011).

PARÂMETRO 4: VELOCIDADE DO ESCOAMENTO			
0 Inexistente – 1 Muito Lenta – 2 Lenta – 3 Normal – 4 Acelerada – 5 Muito Acelerada			
AMBIENTE	DESEMPENHO	AMBIENTE	DESEMPENHO
1. Varanda de Frente	2	8. Roupeiro/Livros	0
2. Quarto 01	3	9. Depósito 02	0
3. Quarto 02	2	10. Banheiro Social	0
4. Sala de Estar / Jantar	3 / 5	11. Hall	4
5. Varanda de Fundos	5	12. Suíte	5
6. Cozinha	3	13. Banheiro Íntimo	3
7. Depósito 01	5	14. Sala de Leitura	4
Casa 1	Desempenho geral de 65% da área do piso ventilada.		
			4

Pode-se perceber que quanto menor o tempo de permanência no ambiente, menor é a abrangência do escoamento dos ventos, por exemplo, ambientes como banheiros, depósitos e roupeiros, os quais apresentam os piores desempenhos segundo a Tabela 1. Esses apresentam abrangências de ausente a restrita, segundo a classificação apresentada.

A qualidade do escoamento do ar nesses ambientes também parece ser pior segundo a Tabela 2, apesar de não apresentar com clareza esses dados. O mesmo é observado com relação à velocidade desse escoamento, o qual aparece como de normal a inexistente nos

ambientes como banheiros, depósitos e roupeiros, com exceção do Depósito 05, conforme Tabela 3.

Já os ambientes de maior permanência (quartos, suítes, salas de estar e jantar) apresentam no geral melhor desempenho na abrangência do escoamento (Tabela 1), na qualidade do escoamento (Tabela 2), e na velocidade do mesmo (Tabela 3).

Como conclusão do estudo, a tabela de avaliação final da edificação classifica o desempenho da ventilação, proporcionada pelo vento Sudeste, como Razoável com índice de 3,6, conforme observado através da Tabela 4. A abrangência e a qualidade do escoamento são os pontos que mais se destacam com desempenho Bom de valor 4.

Tabela 4 - Resultado Final do Vento Sudeste. Fonte: Castro e Toledo (2011).

AVALIAÇÃO FINAL DO VENTO SUDESTE		
0,01 a 1 Insatisfatório – 1,01 a 2 Baixo – 2,01 a 3 Razoável – 3,01 a 4 Bom – 4,01 a 5 Ideal		
DADO	PESO / APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO	DESEMPENHO
1. Percurso do Escoamento	3	3
2. Abrangência do Escoamento	4	4
3. Qualidade do Escoamento	4	4
4. Velocidade do Escoamento	3	2
Todo o vento Sudeste	$DV = (3 \times 3) + (4 \times 4) + (2 \times 3) + (4 \times 4) / 13$	Final: 3,6

O estudo revela-se como uma experiência interessante de desenvolvimento de metodologia para se testar a qualidade da ventilação natural dentro de uma edificação, fazendo uso de ferramentas de simulação real como a mesa d'água.

Pesquisa conduzida por Bangalee, et al (2012) enfatiza a necessidade da simulação tridimensional (3D) para prever o movimento do ar corretamente no interior de edificações em estudos de sistemas de ventilação natural. No artigo em questão faz-se uso de CFD (computer fluid dynamics) para investigar o sistema de ventilação natural em uma edificação com múltiplas janelas.

São então simulados três casos de ventilação com velocidade padrão: o primeiro com ventilação cruzada com duas aberturas na face de pressão positiva do vento (barlavento) e outras duas na face de pressão negativa (sotavento), Figura 25; o segundo com duas aberturas apenas na face de pressão positiva do vento (barlavento); e o terceiro caso com duas aberturas apenas na face de pressão negativa do vento (sotavento).

Nesse estudo fica claro que a velocidade do ar no caso da ventilação cruzada é maior que nos demais casos analisados, as janelas a barlavento servem então como entradas de ar e aquelas a sotavento servem de saída (Figura 26). O fluxo de ar é um pouco maior com o caso das janelas abertas apenas a barlavento do que com o caso das janelas abertas apenas a sotavento. Nesse caso, cada janela funciona simultaneamente tanto como entrada, quanto como saída de ar.

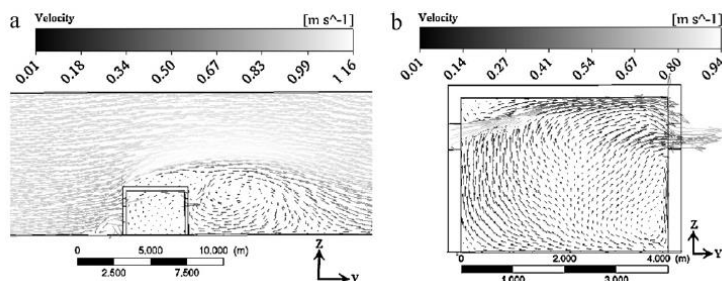


Figura 25 – Distribuição do fluxo de ar dentro e fora da edificação no primeiro caso. Fonte: Bengalee, et al (2012).

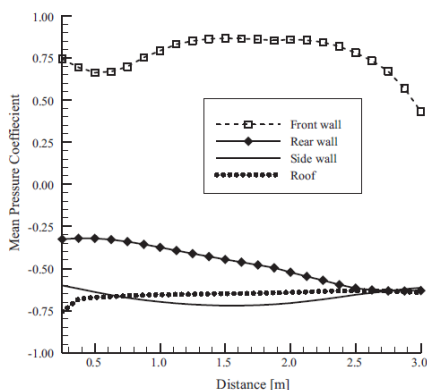


Figura 26 – Coeficientes de pressão sobre superfície para o primeiro caso. Fonte: Bengalee, et al (2012).

Conclui-se então que a taxa de fluxo de massa de ar através das janelas e a velocidade interna do ar alteram-se linearmente se a velocidade do vento também varia linearmente. A distribuição dos coeficientes de pressão sugere que a parede frontal seria mais apropriada para aberturas de entrada de ar em ventilação cruzada, enquanto que

qualquer outra parede serviria para abertura de saída. Entre todos os casos analisados verificou-se que a ventilação cruzada obteve melhor desempenho em todos os aspectos.

Tal fato não seria novidade para o campo de estudo, pois, já se sabe que a ventilação cruzada é mais eficiente que os demais tipos de ventilação. Porém, é válida a comprovação através de software de simulação o qual possibilita análises mais detalhadas do comportamento do vento, com condições ambientais e de clima específicos, especialmente, quando comparadas com observações reais como aquela citada no estudo anterior (Castro e Toledo, 2011) realizada com fluídos reais.

Desse modo, todas essas influências, constatadas, exercidas pela forma arquitetônica sobre a ventilação natural devem ser levadas em consideração na presente pesquisa, uma vez que serão analisadas distintas conformações espaciais, tanto internas como externamente. Dentro desse contexto faz-se necessário também explorar alguns aspectos do Desempenho Térmico das edificações, considerando-se que esse recebe influência direta, assim como a ventilação natural, da forma arquitetônica.

2.3. DESEMPENHO TÉRMICO

Os materiais que fazem parte de uma edificação, especialmente de sua envoltória, determinam a relação entre a temperatura exterior e as condições de radiação solar, assim como as temperaturas internas em prédios não condicionados (Givoni, 1998). Nos caso das edificações possuírem sistemas de refrigeração ou aquecimento mecânicos os materiais da envoltória determinam a energia consumida pelo sistema para manter a temperatura interna confortável.

Sabe-se que as temperaturas externas e a radiação solar seguem padrões cíclicos diurnos. Desse modo, a energia solar incidente que é absorvida pelas paredes externas e cobertura durante o dia causa uma elevação da temperatura interna média da edificação acima da temperatura média externa.

Ainda segundo Givoni (1998), através da escolha consciente de elementos construtivos constituintes da envoltória torna-se muito mais fácil o controle dos efeitos da radiação solar sobre a edificação. Três propriedades da envoltória da edificação controlam essa relação

exterior/interior: sua condução térmica, ou resistência; alteração da temperatura da massa da edificação com absorção e perda de capacidade térmica energética (inércia térmica); e absorção (ou reflexão) da energia solar que atinge a edificação.

Condução e resistência são ainda determinadas por mais algumas propriedades básicas como: condutividade, calor específico e densidade dos materiais, além da espessura do elemento construtivo. Como resposta a incidência dos raios solares há ainda uma propriedade chamada absortância, a qual depende especialmente da coloração externa da construção e das condições de sombreamento da mesma. Todos esses fatores citados serão aplicados indiretamente nas simulações de desempenho térmico a serem desenvolvidas ao longo da pesquisa e, portanto, são de grande importância para a construção dos modelos a serem simulados. Toda essa relação entre fenômenos naturais térmicos e superfícies e materiais construtivos são essenciais como base para o atual estudo.

2.3.1. Propriedades dos materiais

Os materiais são organizados em forma de elementos construtivos com certa espessura, os quais podem conformar a envoltória da edificação (paredes externas e cobertura) ou os elementos internos (divisões internas e pisos). Cada elemento pode ser composto de várias camadas de distintos materiais. Desse modo, a composição das diferentes camadas da envoltória, assim como também, nas partes internas da edificação, determina o desempenho térmico de uma construção.

Segundo Givoni (1998), o desempenho térmico de elementos construtivos opacos, por sua vez, é determinado por algumas propriedades térmicas gerais, as quais são:

- Condutividade térmica (λ) - a taxa de fluxo de calor através da unidade de área de superfície de um elemento construtivo de unidade de espessura por diferença de unidade de temperatura. Essa unidade é W/m.K.
- Densidade (ρ) – massa por unidade de volume, kg/m³.
- Calor específico (c) – a energia necessária para aumentar a temperatura de uma unidade de massa em um grau Celsius ou Kelvin. Unidade representada por J/kg.K.
- Capacidade térmica volumétrica (cv) – calor específico multiplicado pela densidade. A energia necessária para

aumentar a temperatura de uma unidade de volume de um material em um grau. Unidade representada por $J/m^3.K$.

Por sua vez, superfícies translúcidas, como os vidros utilizados nas aberturas (zenitais ou verticais) das edificações, possuem propriedades radiantes específicas, as quais são apresentadas a seguir:

- Emissividade (ϵ) – a capacidade de uma superfície de emitir radiação de onda longa, relativa à radiação emitida por um “corpo negro”.
- Absortância (α) – A fração de radiação incidente absorvida pela superfície. Para radiação de onda longa: $\epsilon = \alpha$. Para radiação solar, geralmente, $\epsilon \neq \alpha$.
- Reflexão (r) – A fração da radiação incidente que é refletida de volta. Para superfícies opacas $r = 1 - \alpha$.
- Transmitância solar dos vidros (t_g) – A fração da energia solar incidente que é transmitida para o interior através de elementos translúcidos (vidros).

O conhecimento de tais propriedades térmicas, e outras mais detalhadas, auxiliou então na definição das propriedades físicas dos materiais construtivos a serem adotados nas simulações energéticas, conforme detalhado mais a frente no capítulo da metodologia.

2.3.2. Parâmetros de ventilação natural

Conforme visto anteriormente para uma forma isolada, o vento causa pressões nas superfícies as quais variam ao redor da edificação, alterando as taxas de fluxo de admissão e exaustão do sistema, ventilação natural, infiltração e exaustão, além da pressão interna. Em seguida, tem-se um maior detalhamento acerca do funcionamento das pressões do vento ao redor das edificações e como essas influenciam a ventilação interna dos ambientes.

O fluxo na camada de limite interna viscosa é dominado pelo efeito da viscosidade. Sendo assim, dependendo do número de Reynolds, o fluxo na região é ou laminar ou turbulento. Quando um fluxo turbulento atinge uma borda pontiaguda, como uma esquina de um prédio retangular, a separação de camadas acontece imediatamente. No entanto, o efeito do número de Reynolds é extremamente pequeno

para edificações retangulares por que não é o fator dominante em controlar a separação e a largura de passagem.

Segundo Allard (1998, p. 27) a relação, para fluxo livre, entre velocidade e pressão relativa em diferentes locais do campo de fluxo é obtida através da equação de Bernoulli. Considerando-se uma densidade constante do ar ao longo de uma linha em uma dada altura, a equação de Bernoulli pode ser simplificada para:

$$P_{stat} + 0.5\rho v^2 = Constant$$

O coeficiente de pressão C_p em determinado ponto M (x, y, z) com pressão dinâmica referencial P_{dyn} correspondente a certa altura z_{ref} , para uma dada direção do vento θ pode ser descrita conforme as seguintes equações:

$$C_{p_s(z_{ref},\theta)} = [P - P_0(z)] \cdot [P_{dyn}(z_{ref})]^{-1}$$

$$P_{dyn}(z_{ref}) = 0.5\rho_{out}v^2(z_{ref})$$

Onde:

P = pressão medida

P_0 = Pressão atmosférica de referência

A Figura 27 apresenta a distribuição de pressão ao redor de uma edificação de acordo com o ângulo do vento para efeito de cálculo de coeficientes de pressão (C_p).

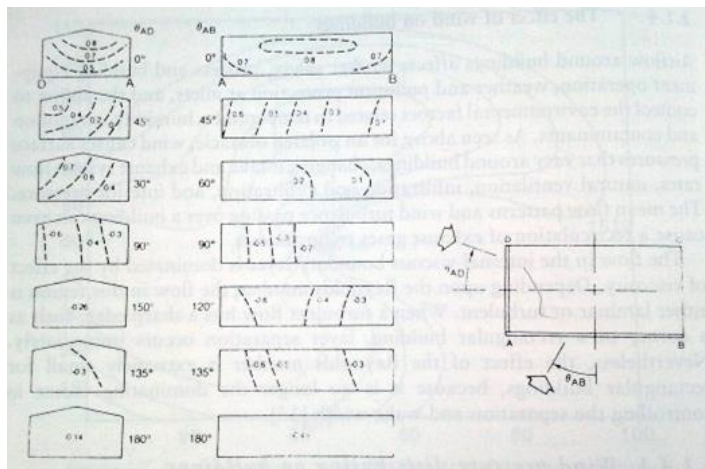


Figura 27 – Exemplo de distribuição de C_p , ou coeficiente de pressão, em uma edificação. Fonte: ALLARD, 1998.

Wind	Environment	Building geometry
Wind velocity profile exponent (α)	Plan area density (PAD)	Frontal aspect ratio (FAR)
Wind incident angle (α)	Relative building height (RbH)	Side aspect ratio (SAR)
		Element positioning coordinates
		Roof slope tilt angle (α)

Figura 28 - Parâmetros que afetam a distribuição do coeficiente de pressão. Fonte: ALLARD, 1998.

Valores médios de C_p são dados somente para intervalos abertos de ângulo do vento [18,19]. Um modelo paramétrico de distribuição da pressão do vento pode possibilitar valores de C_p em qualquer ponto de uma superfície para qualquer ângulo específico do vento caso haja dados suficientes. Os três tipos de parâmetros sugeridos são mostrados na Figura 28

O entendimento do comportamento dos ventos sobre um determinado obstáculo, como uma edificação, é fundamental para uma melhor compreensão dos aspectos aerodinâmicos que envolvem a ventilação natural de construções. É interessante observar quais os parâmetros que afetam a distribuição do coeficiente de pressão, como ângulo de incidência, densidade do meio, altura da edificação, e orientação, uma

vez que os mesmos são importantes para a definição das propriedades construtivas a serem analisadas na pesquisa.

2.3.3. Desempenho térmico de edificações

O Brasil somente recentemente teve algumas normatizações de aspectos ligados ao desempenho térmico de edificações, apesar de que o tema já é abordado há algum tempo em países como os Estados Unidos, Canadá, Austrália e países europeus em geral. Uma vez que a atual pesquisa aborda o clima tropical quente e úmido no nordeste brasileiro, se restringirá à análise das normas de desempenho térmico nacionais, mais diretamente conectadas com o estudo.

No Brasil, desde 2005, vigora a NBR 15220 (ABNT, 2005) a qual normatiza o desempenho térmico das edificações residenciais de interesse social. Essa é então dividida em cinco partes, as quais se referem aos métodos de cálculo e medição de propriedades térmicas dos componentes construtivos das edificações, sendo que a terceira parte apresenta o zoneamento bioclimático brasileiro (Figura 29 e Tabela 5) e as diretrizes construtivas para as habitações unifamiliares de interesse social.

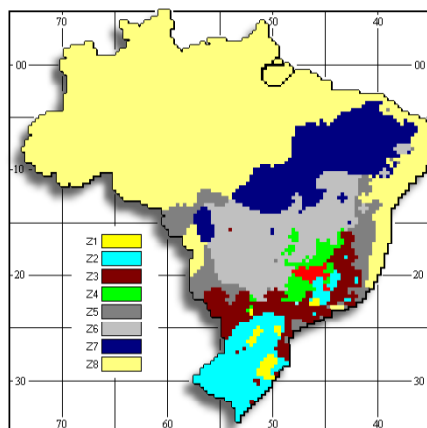


Figura 29 - Divisão do território brasileiro em oito zonas bioclimáticas (ZB's).
Fonte: ABNT, 2005.

Tabela 5 - Estratégias bioclimáticas por ZB. Fonte: ABNT, 2005.

Zona Bioclimática	Estratégias Verão	Estratégias Inverno
ZB1	-	Aquecimento solar da edificação/Inércia térmica
ZB2	Ventilação cruzada	Aquecimento solar da edificação/Inércia térmica
ZB3	Ventilação cruzada	Aquecimento solar da edificação/Inércia térmica
ZB4	Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento/Ventilação seletiva	Aquecimento solar da edificação/Inércia térmica
ZB5	Ventilação cruzada	Inércia térmica
ZB6	Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento/Ventilação seletiva	Inércia térmica
ZB7	Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento/Ventilação seletiva	-
ZB8	Ventilação cruzada permanente	-

O objetivo das diretrizes é melhorar o desempenho térmico das edificações residenciais unifamiliares de interesse social, através de recomendações adequadas ao clima em questão. As estratégias de condicionamento recomendadas pela NBR 15220-3 foram então baseadas na carta bioclimática de Givoni (1998), já citada

anteriormente. As propriedades térmicas dos elementos construtivos foram definidas para cada zona bioclimática, de acordo com as estratégias bioclimáticas recomendadas para tal clima.

Há poucos anos atrás, foi aprovada a norma NBR 15575 (ABNT, 2008), que regulamenta o desempenho de edificações habitacionais com até cinco pavimentos. A norma entrou em vigor em maio de 2010 e estabelece, na primeira parte, requisitos gerais. Já na quarta e quinta partes determinam características térmicas de transmitâncias e absorptâncias e capacidade térmica para os componentes de paredes e coberturas, que estão divididos em uma escala de classificação de desempenho mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), de acordo com cada uma das zonas bioclimáticas (Figura 30).

A NBR 15575 (ABNT, 2008) adota praticamente as mesmas recomendações de propriedades térmicas da NBR 15220, transmitância térmica, absorptância e capacidade térmica dos elementos construtivos. Parâmetros que não foram adotados são atraso térmico e fator solar. A Figura 30 apresenta critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão e inverno para todas as zonas bioclimáticas, considerando-se que a zona bioclimática considerada na atual pesquisa é a de número oito (8).

Nível de desempenho		Critério ²	
		Zonas 1 a 7	Zona 8
VERÃO	M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
	I	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1^{\circ}\text{C})$
	S	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^{\circ}\text{C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 1^{\circ}\text{C})$
Nível de desempenho		Critério	
		Zonas 1 a 5	Zonas 6, 7 e 8
INVERNO	M	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
	I	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^{\circ}\text{C})$	
	S	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^{\circ}\text{C})$	
$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, ($^{\circ}\text{C}$); $T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, ($^{\circ}\text{C}$); $T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, ($^{\circ}\text{C}$); $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, ($^{\circ}\text{C}$).			

Figura 30 – Critérios de avaliação do desempenho térmico para condições de verão e inverno, método por simulação computacional. Fonte: NBR 15575, 2008.

Vale salientar que o critério de avaliação da temperatura do ar interna, nos ambientes de permanência prolongada, desconsidera ganhos internos de calor (ocupação, equipamentos, iluminação, etc.).

As normas brasileiras apresentam diferentes critérios para áreas mínimas de aberturas para ventilação. A NBR 15575 recomenda aberturas grandes para a Zona Bioclimática 8 (a área deve ser maior ou igual a 15% da área do piso), considerando ambientes de permanência prolongada. A NBR 15220 também recomenda aberturas grandes para a Zona Bioclimática 8 ($A > 40\%$ da área do piso). Nota-se então que as normas apresentam uma grande diferença no percentual de área ventilada do piso, para os ambientes de permanência prolongada.

A área de ventilação dos ambientes deve atender também aos critérios estabelecidos pelos códigos de obras dos municípios, que em geral estabelecem, para ambientes de permanência prolongada, a área mínima de 1/6 (um sexto) a 1/8 (um oitavo) da área do ambiente. Estes

critérios podem variar de acordo com a classificação do ambiente e entre as cidades.

Esse último critério foi então adotado para aplicação nas simulações de desempenho térmico dos modelos, uma vez que se encontra mais próximo da realidade construtiva da maioria das cidades brasileiras, e em especial de Natal/RN, tendo em vista que as normas existem, porém, não são adotadas pela grande maioria dos arquitetos em atuação na região.

Há ainda o Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ-R) que verifica o nível de eficiência energética de edificações residenciais, classificando essas em cinco níveis distintos de eficiência (Figura 31). O regulamento pode ser aplicado sobre unidades habitacionais autônomas (UH), edificações multifamiliares e áreas de uso comum. Para as edificações pertencentes às Zonas Bioclimáticas ZB1 a ZB4 são avaliados: envoltória para inverno, envoltória para verão e aquecimento de água. Já para as Zonas Bioclimáticas ZB5 a ZB8 são avaliados somente envoltória para verão e aquecimento de água.

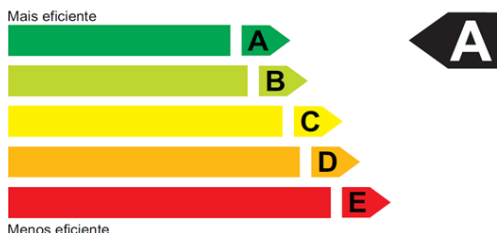


Figura 31 – Níveis de eficiência energética concedidos através do RTQ-R. Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL, 2011.

Tal regulamento define ainda uma escala de Graus-hora para resfriamento e aquecimento utilizados na classificação da envoltória das edificações (Figura 32). Como na atual pesquisa somente será explorado o potencial para resfriamento natural nas edificações, por Graus-hora para resfriamento (GHR) entende-se:

“Indicador de desempenho térmico da envoltória da edificação naturalmente ventilada, baseado no método dos graus-hora, que utiliza uma temperatura base, independente de temperaturas

de conforto, consistindo em uma temperatura de referência para comparações. Neste RTQ, o indicador representa o somatório anual de graus-hora, calculado para a temperatura de base de 26°C para resfriamento. O cálculo é realizado através da temperatura operativa do ambiente.” (ELETROBRÁS/PROCEL, 2011).

ESCALAS NV - REFRIGERAÇÃO							
	ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB6	ZB7	ZB8
ZERO	0	225	0	0	0	6509	2053
INTERVALO		2085	822	727	2745	6057	3156
A	143	2310	822	727	2745	12566	5209
B	287	4395	1644	1454	5490	18623	8365
C	430	6480	2466	2181	8235	24680	11521
D	574	8565	3288	2908	10980	30737	14677
E	717	10650	4110	3635	13725	36794	17833

Figura 32 - Escalas para etiquetagem de envoltória considerando-se ventilação natural, ou resfriamento passivo, por zona bioclimática, estabelecidas pelo RTQ-R. Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL, 2011.

A Tabela 6 apresenta valores limites de transmitância térmica (U), absorvância (α) e capacidade térmica (CT) adotados pelo RTQ-R, baseados nas normas NBR 15.575-4, NBR 15.575-5 e NBR 15220-3. O regulamento adota os mesmos valores determinados pelas normas, porém, as aberturas e as paredes internas não entram no cálculo desses três parâmetros. Deve-se salientar que este pré-requisito aplica-se apenas a ambientes de permanência prolongada.

Tabela 6 - Pré-requisitos de absorvência solar, transmitância térmica e capacidade térmica para as diferentes Zonas Bioclimáticas adotados pelo RTQ-R, baseada na NBR 15.575-4, NBR 15.575-5 e NBR 15220-3. Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL, 2011.

Zona Bioclimática	Componente	Absorvência solar	Transmitância térmica	Capacidade térmica
		(adimensional)	[W/(m²K)]	[kJ/(m²K)]
ZB1 e ZB2	Parede	Sem exigência	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	Sem exigência	$U \leq 2,30$	Sem exigência
ZB3 a ZB6	Parede	$a \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$a > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$a \leq 0,6$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$a > 0,6$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
ZB7	Parede	$a \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$a > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$a \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$a > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
ZB8	Parede	$a \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	Sem exigência
		$a > 0,6$	$U \leq 2,50$	Sem exigência
	Cobertura	$a \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$a > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência

O estudo por Loura et al (2011) aborda a análise comparativa entre resultado de desempenho térmico de envoltórias de edifício residencial gerados por duas distintas normas brasileiras, a NBR 15.575:2008 e o RTQ-R. LOURA et al, (2011) classificam uma residência multifamiliar, localizada na cidade do Rio de Janeiro, zona bioclimática 8, a partir do método prescritivo do RTQ-R e do método normativo simplificado da NBR 15.575:2008. Verificou-se então que é necessário promover maior coerência entre os resultados das avaliações de desempenho térmico feitas a partir desses instrumentos.

Verificaram-se no estudo em questão algumas incoerências entre os dois instrumentos quanto às classificações do desempenho térmico de elementos por zonas bioclimáticas. Incoerências essas que, segundo os autores, interfeririam no desempenho térmico desejado, causando confusão entre os usuários dos métodos, assim como também resistência por parte do mercado às avaliações de desempenho. A Figura 33 ilustra o comparativo de agrupamento por zonas bioclimáticas

	NBR 15.220:2005 – Parte 3	RTQ-R	NBR 15.575:2008 (U)	NBR 15.575:2008 (CT)
Paredes	Grupo 1: ZB1 e ZB2	Grupo 1: ZB1 e ZB2	Grupo 1: ZB1 e ZB2	Grupo1: ZB1, ZB2, ZB3, ZB4, ZB5, ZB6 e ZB7
	Grupo2: ZB3, ZB4, ZB8	Grupo2: ZB3, ZB4, ZB5, ZB6	Grupo 2: ZB3, ZB4, ZB5, ZB6, ZB7 e ZB8	Grupo 2: ZB8
	Grupo 3: ZB4, ZB6, ZB7	Grupo 3: ZB7	-	-
	-	Grupo 4: ZB8	-	-
Cobertura	Grupo1: ZB1, ZB2, ZB3, ZB4, ZB5, ZB6	Grupo 1: ZB1 e ZB2	Grupo 1: ZB1 e ZB2	Grupo1: ZB1, ZB2, ZB3, ZB4, ZB5, ZB6 e ZB8
	Grupo 2: ZB7	Grupo2: ZB3, ZB4, ZB5, ZB6	Grupo2: ZB3, ZB4, ZB5, ZB6	Grupo 2: ZB7
	Grupo 3: ZB8	Grupo 3: ZB7	Grupo 3: ZB7 e ZB8	-
	-	Grupo 4 ZB8	-	-

Figura 33 – Comparativo de agrupamento das zonas bioclimáticas. Fonte: LOURA, et al, 2011.

Tendo em vista esses resultados, pode-se concluir que apesar do caráter regulador das normas e regulamentações citadas, os ajustes e adaptações são quase que constantemente necessários, tendo em vista a diversidade de climas existentes no Brasil.

2.3.4. Simulação computacional

Existem ao todo cerca de 410 tipos de programas de simulação de edificações para verificação de eficiência energética, energias renováveis, análise do ciclo de vida e sustentabilidade em edificações disponíveis na página do Departamento de Energia dos Estados Unidos (2012). Alguns desses são, por exemplo: BLAST, DOE-2.1E, TRSYS, TAS, TRACE, eQUEST, ECOTECT, ENERGYPLUS, entre outros. Dentre esses apenas o CA-SIS, CLIM2000, o DOE-2.1E, o ENERGYPLUS, o PROMETHEUS e o TRNSYS foram selecionados para as simulações de BESTTEST (Building Energy Simulation Tests), as quais testam as ferramentas de simulação quanto à sua capacidade de simular a realidade com precisão, conforme apresentado pela Tabela 7.

Tabela 7 – Organizações e softwares participantes do BESTTEST. Fonte: NREL/TP-550-30152 (2002).

Table 3-1. Participating Organizations and Computer Programs

Model	Authoring organization	Implemented by
CA-SIS V1	Electricité de France, France	Electricité de France, France
CLIM2000 2.1.6	Electricité de France, France	Electricité de France, France
DOE-2.1E-088	LANL/LBNL/ESTSC, ^{a,b,c} , USA	CIEMAT, ^d Spain
DOE-2.1E-133	LANL/LBNL/JJH, ^{a,b,c} , USA	NREL/JNA, ^f , USA
ENERGYPLUS 1.0.0.023	LBNL/UIUC/CERL/OSU/GARD Analytics/FSEC/DOE-OBT, ^{a,g,h,i,j,k}	GARD Analytics, USA
PROMETHEUS	Klimasystemtechnik, Germany	Klimasystemtechnik, Germany
TRNSYS 14.2-TUD with ideal controller model	University of Wisconsin, USA; Technische Universität Dresden, Germany	Technische Universität Dresden, Germany
TRNSYS 14.2-TUD with real controller model	University of Wisconsin, USA; Technische Universität Dresden, Germany	Technische Universität Dresden, Germany

Segundo NREL/TP-550-30152 (2002), os programas a serem testados pelo BESTTEST são escolhidos de acordo com os seguintes critérios: ser um simulador baseado em dados climáticos horários e com incrementos de cálculos de tempo de uma hora ou menos; e ser representativo do estado da arte em simulações energéticas de edificações conforme definido pelo país encarregado da seleção.

Segundo Mendes et al. (2005), os programas de simulação de desempenho térmico energético poderiam auxiliar muito nos escritórios de engenharia e arquitetura, ajudando na concepção do projeto do edifício o qual faz uso de estratégias passivas.

No Brasil, os programas de simulação para análises de eficiência energética ainda são pouco difundidos entre os profissionais de engenharia e arquitetura, não fazendo parte das ferramentas de trabalho na rotina diária dos escritórios. Para Westphal e Lamberts (2005), as principais causas são a complexidade dos programas e a consequente dificuldade e demora no aprendizado pelos usuários.

Também é reconhecido que a complexidade dos fenômenos envolvendo o desempenho térmico de edificações requer uma grande quantidade de dados de entrada nas simulações, o que demanda conhecimentos multidisciplinares por parte dos usuários.

Segundo Sousa (2012), atualmente o *EnergyPlus* é um dos programas de simulação de edificações mais conhecidos mundialmente. Esse programa calcula as trocas térmicas, os índices de iluminação e de

consumo energético das edificações, a partir da modelagem física do edifício e seus sistemas de ventilação, iluminação, aquecimento e resfriamento. Essa integração simultânea de todos esses detalhes confere ao software uma melhor simulação da realidade (DOE, 2012). Especialmente agora com a integração do Open Studio, uma interface com o software *Sketchup* da Google, a aplicação da ferramenta se tornou muito mais prática para os simuladores.

Desse modo, devido à sua credibilidade, já citada, e comprovada pelo BESTTEST, é que o software *EnergyPlus* foi escolhido para servir de ferramenta de simulação energética na atual pesquisa.

2.3.4.1. PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO DE VENTILAÇÃO

Há diversos métodos de predição de desempenho térmico de edificações. De acordo com o tipo de informação requisitada vários modelos e ferramentas podem ser adotadas. Os modelos podem ir desde simples algoritmos empíricos para calcular índices globais de fluxo de ar até técnicas de computação sofisticadas de dinâmica dos fluidos.

Baseado no nível de complexidade de modelagem, quatro abordagens distintas podem ser utilizadas para a predição do fluxo de ar em edificações naturalmente ventiladas: modelos empíricos; modelos de rede (Figura 34); modelos zonais e modelos em CFD (*Computational Fluid Dynamic*). Segundo Santamouris (1998) apud Sorgato (2011), os mais usuais são os modelos zonais, os modelos de dinâmica dos fluidos computacional (CFD) e os modelos de rede.

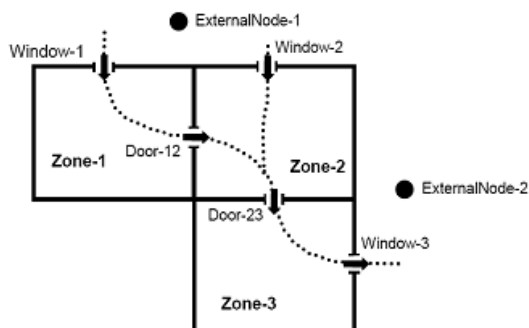


Figura 34 - Modelo de rede AirflowNetwork. Fonte: ENERGYPLUS, 2012.

Os modelos zonais consideram o ar das zonas como sendo homogêneo totalmente misturado. Os modelos zonais, assim como os modelos CFD, dividem o volume do ar interno em vários volumes. O CFD por sua vez divide o ambiente em número maior de pequenos volumes fazendo uso de cálculos que consideram equações de conservação de massa, energia e momento. Devido à sua complexidade os modelos CFD são mais aplicados como ferramenta de pesquisa do que de auxílio à atividade de projeção.

Segundo Allard (1998), o conceito de modelagem de fluxo de ar por rede considera a edificação como uma malha formada por um número de nós os quais se situam nas zonas simuladas e no ambiente externo. Desse modo, os ambientes de uma edificação são representados por nós e as aberturas por caminhos de fluxo interconectados. A interação com o ambiente exterior é representada por caminhos de fluxos ligando nós internos e externos. Desse modo, para cada nó, interno ou externo, é atribuída uma determinada pressão.

Uma das limitações dos modelos de rede é que os mesmos não calculam a velocidade interna do ar na zona. Uma forma de aproximação da velocidade do ar seria calcular através dos fluxos de ar nas aberturas do ambiente. Porém tal aproximação é arriscada. Entretanto, como tal análise não será levada em consideração na atual pesquisa, torna-se irrelevante.

Sendo assim, devido à maior prática de manuseio por parte da pesquisadora e possibilidades de aplicação da ferramenta, será utilizado na atual pesquisa o modelo de rede, através do software *EnergyPlus*. O programa *EnergyPlus* permite a simulação integrada da

ventilação natural com a simulação térmica da edificação, a partir da sua geometria e das condições climáticas locais, permitindo, assim, realizar simulações dinâmicas.

2.4. Teoria da sintaxe espacial

O modo como as pessoas vivem é bastante variável e complexo. Pode variar de acordo com fatores individuais, culturais e sociais. O espaço habitado é caracterizado por uma forma arquitetônica, a qual pode ser definida de dois modos distintos, como um sistema ou estrutura espacial, conforme identificado através da Teoria da Sintaxe Espacial, ou como um invólucro, ou envoltória, segundo a Arquitetura Bioclimática. Portanto, dentro da atual pesquisa, pretende-se fazer uso tanto da análise proporcionada pela sintaxe espacial, onde a forma será analisada como sistema ou estrutura espacial, como também das análises de desempenho térmico, as quais analisarão resultados de performance energética da envoltória. Desse modo, ambas focam no espaço “vazio”, o qual é delimitado pelos elementos construtivos.

A arquitetura, e conseqüentemente sua forma, pode ser definida como uma variável dependente ou variável independente. Acerca disso, Holanda afirma que:

“Como variável dependente, a arquitetura é determinada pelo ambiente sicionatural em que se realiza, por exemplo: clima, relevo, geologia, hidrografia, disponibilidade de materiais (ambiente natural); conhecimento científico-tecnológico, interesses econômico-político-ideológicos (ambiente social). Ela resulta disto. Por outro lado, como variável independente, a arquitetura tem efeitos. Enquanto artefato, ela impacta nossas vidas e o meio ambiente natural: ela determina se 1) atividades têm suporte adequado para seu

funcionamento, 2) condições higro-térmicas são confortáveis, 3) custos energéticos para manutenção são elevados, 4) há sensação de beleza etc. Ela resulta nisto.” (Holanda, 2006, p. 2).

Com relação a isso Hillier e Hanson ainda afirmam que “(...) porque o espaço tem suas próprias leis e sua própria lógica, pode agir como um sistema de restrições sobre a sociedade. (...) Não obedece a certo conjunto de determinantes sociais sem impor qualquer coisa da sua própria e autônoma realidade.” (Hillier & Hanson, 1984, p. 199).

Dentro desse contexto, são esses efeitos causados pela arquitetura como “variável independente”, e o seu impacto na vida das pessoas, e, conseqüentemente, no meio ambiente natural, que serão identificados na presente pesquisa, considerando-se as limitações da amostra selecionada.

A forma, desse modo, não pode ser considerada isoladamente. O entorno, ou clima, muitas vezes, é fator determinante na maneira como os habitantes se comportarão dentro de uma edificação, especialmente, nos dias de hoje, quando cada vez mais se valoriza o meio ambiente e relações mais próximas com esse. Desse modo, o ambiente no qual uma edificação se insere pode vir a influenciar, além da configuração de seu sistema de envoltória, na própria organização e distribuição dos espaços internos dessa.

A sintaxe espacial surge então como uma interessante ferramenta de análise espacial e social, a qual acaba permitindo leituras de comportamento social com razoável grau de profundidade e numericamente quantificáveis. Por esse motivo, possibilita posteriores comparações com outros tipos de análises igualmente quantificáveis.

2.4.1. Fundamentos e conceitos básicos da teoria da sintaxe espacial

Conforme definido anteriormente, a forma arquitetônica não é imparcial. Ela pode refletir processos sociais. Assim como também pode configurar um repositório desses (um receptor de cultura, de modos de se relacionar, o qual reflete a mesma), ou até mesmo afetar tais processos, funcionando como uma forma impactante. O modo

como as pessoas se movem dentro de um espaço, interagem entre si e percebem mudanças em seus campos de visão enquanto transitam são alguns dos fatores que permitem à Sintaxe Espacial quantificar essas relações sociais dentro dos espaços habitados.

Sendo assim, os elementos básicos da sintaxe espacial que permitem essa leitura, e quantificação, espacial podem ser de duas dimensões: convexo, ou bidimensional, e axial, ou unidimensional. Outro elemento bidimensional, além do espaço convexo, é a isovista, porém, deve-se atentar para o fato de que nem toda isovista é convexa, considerando-se que “convexa” é toda forma geométrica dentro da qual todos os pontos são “intervisíveis”. Segundo Hanson (1994) APUD Amorim (1999), esses estão diretamente ligados à forma como as pessoas ocupam os espaços, como as pessoas se movimentam ao longo de linhas axiais, formam grupos em elementos convexos bidimensionais e vêem campos visuais não convexos tridimensionais ou isovistas. A Figura 35 ilustra melhor esses elementos citados.

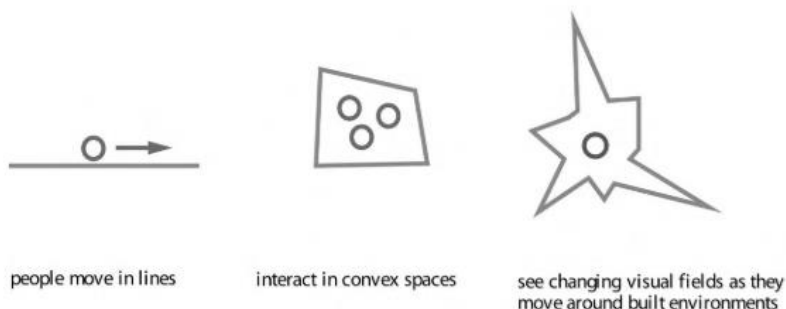


Figura 35 – Elementos primários utilizados em análises pela sintaxe espacial.

Espaços não são apenas planos de fundo para atividades, mas aspectos intrínsecos a essas. Fonte: VAUGHAN, 2007.

Seguindo o pensamento de Hillier e Hanson, a análise de residências através da sintaxe espacial permite várias leituras acerca do modo de viver de uma população, influenciado pelo espaço. Revela, através da leitura da estrutura espacial, possíveis comportamentos sociais e culturais, que podem ser específicos, ou não, de determinada população. Pode-se entender por estrutura, ou organização, espacial, como sendo o efeito que a introdução de determinado espaço, ou

espaços, exerce sobre as relações existentes entre dois outros, considerando suas conexões e barreiras internas. Os espaços pertencentes a uma determinada residência podem, desse modo, ser analisados em termos de acessibilidade e visibilidade, barreiras e permeabilidade.

Pode-se afirmar então que acessibilidade e permeabilidade definem o espaço arquitetônico também em termos de movimento, pois, segundo Hillier et al (1993, p. 30), *“(...) configuração pode ter efeitos em ambos os tipos de movimento, movimento-entre e movimento-para, em traçados urbanos, os quais se tornam independentes de formas construídas atratoras, e talvez, em certa extensão, também de propriedades métricas.”*⁹. Julliene Hanson (1998), por sua vez, aplica tal raciocínio numa escala urbana reduzida, a da edificação, considerando-se uma lógica de percepção espacial semelhante. Com relação a seu estudo a mesma afirma: *“Nossa pesquisa tem confirmado que a medida espacial do quão integrado ou do quão segregado um espaço em particular se encontra com relação a uma edificação ou a um assentamento urbano é um indicador poderoso do quão movimentado ou calmo o mesmo tende a ser.”*¹⁰.

Desse modo, através da configuração espacial podem-se revelar também hierarquias entre os espaços formadores de um lugar e sua profundidade com relação ao espaço externo, ou seja, instrumentos, de análise espacial, detalhados mais adiante, que permitem identificar o nível de integração de determinados ambientes. Segundo Hillier (2004), por integração, entende-se: *“(...) essa medida é chamada integração, e pode ser aplicada a qualquer espaço, em qualquer*

⁹ Tradução livre de: *“(...) configuration may have effects on both through-movement and to-movement in urban grids, which are independent on built-form attractors, and perhaps to some extent also of metric properties.”* (Hillier et al, 1993, p. 30).

¹⁰ Tradução livre de: *“Our research has now confirmed that the spatial measure of how integrated or how segregated a particular space is within a building or a settlement is a powerful predictor of how busy or quiet it is likely to be.”* (Hanson, 1998, p. 1).

*configuração: quanto menor a profundidade de um espaço em relação a um complexo, mais integrado é o mesmo, e vice versa.”*¹¹.

Inicialmente a medida de integração em sintaxe espacial somente considerava questões de acessibilidade interespaços, ou seja, um cômodo era mais integrado quanto mais próximo, em termos de conexões funcionais, o mesmo estivesse em relação a todos os demais do sistema. Recentemente foi introduzida a medida de integração visual, ou seja, considerando não somente as conexões físicas entre espaços, mas também as conexões visuais a partir de um espaço para outros.

O conceito de integração visual evoluiu a partir do conceito de isovista (Figura 36). Segundo Turner et al (2001), as isovistas proporcionam uma descrição do espaço vinda de dentro do mesmo, do ponto de vista do indivíduo, ou seja, como esse percebe o espaço, interage com ele e movimenta-se dentro dele. Desse modo, Turner et al (2001) fizeram uso das isovistas para gerar os grafos de visibilidade (Figura 37), ou seja, o grafo de localidades mutuamente visíveis dentro de determinada configuração espacial.

“Nós desenhamos representações baseadas em grafos utilizadas em teorias de rede sociais, primeiramente a teoria da Sintaxe do Espaço de Hillier & Hanson (1984) e a análise dos pequenos mundos de Watts & Strogatz (1998), o que nos levou a utilizar isovistas para derivar grafos de visibilidade do ambiente – o grafo de locais

¹¹ Tradução livre de: “(...) this measure is called integration, and can be applied to any space in any configuration: the less depth from the complex as a whole, the more integrating the space, and vice versa.” (Hillier, 2004, p. 25).

mutuamente visíveis dentro do layout espacial.”

(Turner ET AL, 2001) ¹².

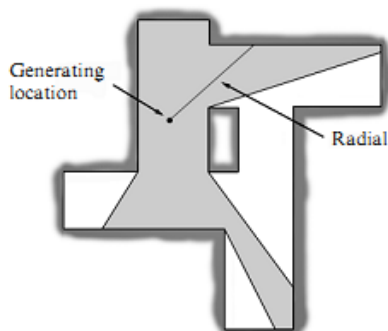


Figura 36 – Exemplo de isovista.
Fonte: TURNER ET AL, 2001.

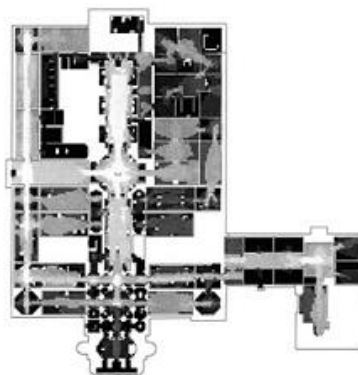


Figura 37 – Exemplo de grafo de análise de visibilidade na Tate Gallery, o qual tem a isovista como origem.
Fonte: TURNER ET AL, 2001.

Com relação às isovistas, o manual do software Depthmap (TURNER, 2004) afirma: “(...) *isovista é tecnicamente um polígono visível a partir de cada nó.*” ¹³ Sendo assim, pode-se afirmar que a isovista representa o nível de visibilidade de um espaço, ou quantas localidades são visíveis a partir de um ponto.

Ainda remetendo às isovistas Amorim (1999), por sua vez, afirma:

¹² Tradução livre de: “*We draw on graph-based representations used in social theories of networks, primarily the space syntax theory of Hillier and Hanson (1984) and the small worlds analysis of Watts and Strogatz (1998), which leads us to use isovists to derive a visibility graph of the environment - the graph of mutually visible locations in a spatial layout.*” (Turner, 2001).

¹³ “*The word ‘isovist’ is a misnomer, as an isovist is technically the polygon visible from each node. In fact, the ‘isovist’ maximum radial calculated by Depthmap is the distance to the furthest visible point location from each node, and the isovist moment of inertia is calculated using the points rather than the isovist continuous isovist polygon.*” (Turner, 2004, p. 10).

*“Outro elemento bidimensional, a isovista (Benedickt, 1979) representa área visível a partir de um ponto particular ou de um espaço convexo. Essas não são simples entidades geométricas abstraídas de uma forma construída, mas relacionam-se diretamente com a forma a qual as pessoas ocupam os espaços, como as pessoas se movem ao longo de linhas axiais, formam grupos em elementos convexos de duas dimensões, e enxergam campos visuais tridimensionais não-convexos ou ‘isovistas’ (Hanson, 1994: 676)”.*¹⁴

Desse modo, porém, há uma diferença básica entre visibilidade e integração visual que é preciso ser explicitada. Enquanto o grafo de visibilidade indica a área do polígono visível a partir de um ponto (e, portanto é uma medida local), a integração visual mede o quão próximo (integrado) ou distante (segregado) um ponto está de todos os outros pontos do sistema (e, portanto é uma medida global). A medida de distância utilizada nesse cálculo funciona considerando todos os pontos imediatamente visíveis entre si como conectados, portanto com distância entre si igual a 1. Pontos não diretamente visíveis entre si possuem distâncias determinadas por algoritmos de caminho mínimo baseados no grafo de visibilidade mútua para identificar as conexões existentes entre os nós do grafo.

¹⁴ Tradução livre de: *“Another bi-dimensional element, the isovist (Benedickt, 1979) represent the visible area from a discrete point or from a convex space. These are not simple geometrical entities abstracted from the built form, but they directly relate to the form by which people occupy space, as ‘people move along axial lines, form groups in two-dimensional convex elements, and see three-dimensional non-convex visual fields or ‘isovists’ (Hanson, 1994: 676)”.* (Amorim, 2001, p. 54).

Os aspectos de visibilidade e integração visual de um espaço encontram-se intimamente ligados a questões de cognição e de inteligibilidade. Segundo Beck & Turkienicz (2009), a correlação entre propriedades sintáticas globais e locais constituem a inteligibilidade de uma determinada configuração espacial, a qual não é somente um atributo físico do ambiente, mas um aspecto também de cognição espacial. Sendo assim, a inteligibilidade inerente em um complexo espacial influencia no movimento exploratório e no entendimento de sua configuração.

Existem também outras medidas sintáticas as quais lidam com acessibilidade e permeabilidade além da integração. A medida de conectividade aponta o número de outras linhas, no caso de um modelo axial, as quais cada linha intercepta considerando todo o sistema espacial (Hillier & Hanson, 1984), como apresentado pela Figura 38. Já a medida *choice*, ou escolha, indica o quanto um caminho, ou espaço convexo, é utilizado como passagem dentro de um sistema, conforme ilustrado na Figura 39.

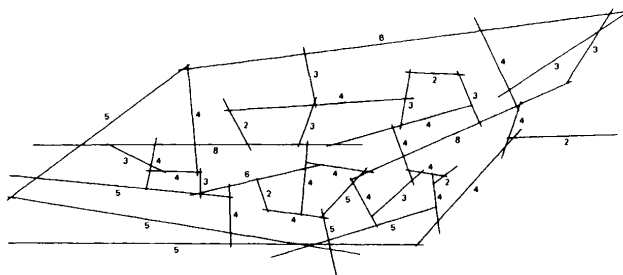


Figura 38 – Mapa axial de conectividade, os números em cada linha representam o número de outras linhas que cada uma delas intercepta. Fonte: HILLIER & HANSON, 1984.

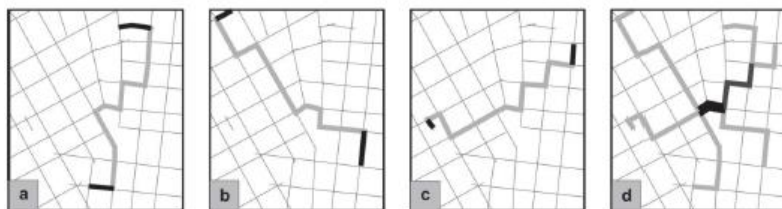


Figura 39 – a), b), c) caminhos mínimos entre pares de caminhos quaisquer; d) os tons de cinza e as espessuras indicam os espaços mais intensamente utilizados como passagem pelos caminhos mínimos. Fonte: SABOYA, 2001.

Esse movimento desenvolvido no espaço habitado, urbano ou edificado, pode ser analisado em nível global ou local. Tais níveis são desse modo, diferentes escalas de análise espacial, as quais permitem que se compreenda um sistema configuracional de modo mais localizado (local) ou mais geral (global). Desse modo, são utilizadas medidas do tipo topo-geométricas, ou métricas, para mensurar esses diferentes níveis de análise espacial, conforme relatado por Hillier et al (2010):

“De um lado, medidas que expressam propriedades topológicas e geométricas de uma rede em uma escala de medida, tais como medidas de integração e choice em mapas axiais ou mapas de segmento

angular, são necessários para capturar relações de função estrutural como padrões de movimento natural. Nós chamamos todas essas medidas de topo-geométricas. Por outro lado, em um nível mais localizado, o entendimento de relações de função estrutural geralmente requer uma conta de propriedades métricas - por exemplo, o genérico, mas geralmente local, fenômeno de intensificação da malha para reduzir a distância das viagens médias em centros vivos (...).”¹⁵ (Hillier et al, 2010, p. 258).

Em resumo, medidas topo-geométricas calculam distâncias através de passos topológicos, e não simplesmente distâncias métricas, ou seja, sempre que uma célula, (ou espaço) está diretamente conectada (isto é, é diretamente visível) a outra célula (ou espaço), a distância entre elas é considerada como um passo topológico. Desse modo são calculadas medidas como integração, profundidade média e conectividade.

Ambas as escalas citadas, global ou local, são, portanto, interdependentes e se auto regulam dentro do sistema. Com relação a isso Hillier et al (2010) afirmam:

¹⁵ Tradução livre de: “On the one hand, measures which express the geometric and topological properties of the network at an extended scale, such as integration and choice measures in axial maps or segment angular maps, are needed to capture structure-function relations such as natural movement patterns (Hillier & Iida 2005). We can call these measures topo-geometric. On the other, at a more localised level, an understanding of structure-function relations often requires an account of metric properties - for example the generic, but usually local, phenomenon of grid intensification to reduce mean trip lengths in live centres.” (Hillier et al, 2010, p.258).

*“Mais genericamente, podemos dizer que estruturas topo-geométricas locais-para-globais refletem os efeitos visuais e, portanto, não locais, do posicionamento de quarteirões no espaço, enquanto que a estrutura urbana de ‘colcha de retalhos’ reflete os efeitos métricos, e, portanto, locais.”*¹⁶
 (Hillier et al, 2010, p. 259).

Ou seja, numa escala mais afastada do traçado urbano, dos quarteirões, onde a localização visual tem maior impacto na orientação, temos uma perspectiva mais global do sistema espacial, enquanto que, numa escala mais aproximada, próxima da ‘colcha de retalhos’, ou malha, urbana, temos uma escala mais local, onde as distâncias métricas contam mais para o pedestre.

Saindo um pouco do contexto urbano e indo para o contexto da edificação, a sintaxe espacial pode ainda revelar a construção, ou mesmo, desconstrução de interfaces sociais, relações entre habitantes em um espaço. Sobre isso Hanson (1988) afirma que a manipulação da forma espacial pode enriquecer a experiência da arquitetura ao conformar uma socialização multifacetada, ou seja, com muitas possibilidades de interação; ou empobrecê-la, articulando um ponto de vista de determinado ator ou de ninguém em particular.

Desse modo, considerando-se essa capacidade de revelar construção e desconstrução de interfaces sociais, a análise dos aspectos espaciais de uma edificação permite de modo mais detalhado um maior entendimento acerca da “socialização”, a qual apresenta um significado mais preciso em sintaxe espacial: “copresença ou cociência de pessoas no espaço, respectivamente por acessibilidade física ou

¹⁶ Tradução livre de: *“More generally, we can say that the local-to-global topo-geometric structure reflects the visual and so nonlocal effects of placing blocks in space, while the patchwork structure reflects metric and so local effects.”* (Hillier et al, 2010, p. 259).

visibilidade proporcionada pela natureza das fronteiras interespaços mais/menos permeáveis à passagem, mais/menos transparentes à vista.” (HOLANDA, 2011, p. 179).

Dentro desse contexto, é importante sempre ter em mente que configurar uma casa constitui potencialidade de utilização, porém, o uso efetivo dos espaços será em função do estilo de vida dos moradores. É do interesse dos pesquisadores de sintaxe espacial saber em que medida a configuração é entrave ao estilo de vida, impõe custos à sua realização ou é adequada, ou simplesmente aponta padrões e mudanças de estilo de vida das pessoas.

Com relação a isso Hanson (1988)¹⁷ afirma:

“O importante sobre uma casa não é uma lista de atividades ou cômodos, mas sim um padrão de espaço, governado por convenções intrincadas sobre quais espaços existem, como esses se conectam e como se sequenciam, quais atividades estão juntas, e quais estão separadas, como o interior é decorado, e ainda quais tipos de objetos domésticos devem ser posicionados nas distintas partes da casa.” (Hanson, 1988, p. 2).

Segundo Holanda (2011), nas residências brasileiras existem cinco possíveis tipos de inter-relações entre habitantes: moradores entre si; os mais jovens e os mais velhos; moradores e hóspedes; moradores e visitantes; proprietários e empregados. Cada qual com seu nível

¹⁷ Tradução livre de: “The important thing about a house is not that it is a list of activities or rooms but that it is a pattern of space, governed by intricate conventions about what spaces there are, how they are connected together and sequenced, which activities go together and which are separated out, how the interior is decorated, and even what kinds of household objects should be displayed in the different parts of the home.” (Hanson, 1998, p. 2).

hierárquico de priorização dentro do projeto, o qual pode apresentar barreiras mais fortes ou mais frágeis entre pessoas, ou práticas, na edificação.

Com relação à dualidade visitantes/moradores, Hanson (1988) afirma que os instintos territoriais do “homem” acabaram exigindo que os espaços fossem organizados de modo que proporcionassem segurança (privacidade) em casa e socialização entre os habitantes, e eventuais visitantes. Em outras palavras, em uma residência deve-se encontrar um forte gradiente de privacidade somado a estímulos ambientais de comportamento em grupo.

Sendo assim, pensou-se que tal instrumento analítico, de análise configuracional do espaço, possa ser relevante para se identificar eventuais alterações espaciais em tipos edifícios de uso e localização semelhantes, porém projetadas de maneiras distintas, seguindo distintas linhas projetuais. Assim como também seria possível, em estudos posteriores, apontar através de análises comparativas de projetos semelhantes, de que modo essas distintas formas de projeto arquitetônico estariam influenciando na maneira contemporânea de se habitar. Pois, segundo Hanson (1988) ¹⁸:

“(...) o tamanho e subdivisão espacial da casa das pessoas, o desenvolvimento de configurações espaciais mais complexas e diferenciadas - (...) – e o grau de sofisticação nos padrões de conectividade, acesso e integração espacial obtido através dessas medidas, pode ser um indicador direto do nível de

¹⁸ Tradução livre de: “(...) the size and spatial sub-division of people’s house, the development of more complex and differentiated space configurations - (...) - and the degree of sophistication in the pattern of connectivity, access and spatial integration which obtains among them, may be a direct indication of a society’s level of social-political complexity.” (Hanson, 1998, p. 47).

complexidade sociopolítica de uma sociedade.”

(Hanson, 1988, p. 47).

Dentro desse contexto, a Sintaxe Espacial possibilita também a identificação de genótipos entre diferentes projetos, modelos espaciais, e analisa quais as implicações desses no modo de viver e de conviver das pessoas. Sobre genótipos, Hanson (1988, p. 32)¹⁹ afirma: *“(...) poderíamos dizer que existia um padrão cultural, o qual pôde ser detectado pela própria configuração ao invés do modo que se fazem interpretações mentais. Nós chamamos esse tipo particular de consistência numérica em padrões espaciais de genótipo residencial.”*. Porém, essa abordagem não será incluída na atual pesquisa tendo em vista o foco do estudo que são as relações entre sintaxe espacial e desempenho térmico de edificações residenciais.

Sendo assim, todos os tipos de relações espaciais mencionados anteriormente no presente subcapítulo podem ser mensurados e quantificados fazendo-se uso de ferramentas como o software *Depthmap*, o qual é utilizado na atual pesquisa e que permite análises de acessibilidade e visibilidade nos espaços, conforme já detalhadas, proporcionando a confecção dos mapas axiais (*All-Line Maps*), mapas convexos (*Convex Maps*) e de visibilidade (*VGA – Visibility Graph Analysis*). Assim como também o software *Jass*, o qual permite a confecção dos grafos justificados.

2.4.2. Medidas e interpretações

O software *Depthmap* decompõe o espaço aberto representado em planta (bidimensionalmente) em células de dimensão compatível com a capacidade de processamento do computador disponível. O mesmo calcula as relações entre cada uma destas células e não apenas as relações entre os cômodos, como os grafos justificados se limitam a analisar, conforme será exposto mais a frente. O processo realizado

¹⁹ Tradução livre de: *“(...) we could say that a cultural pattern existed, one which could be detected in the configuration itself rather than in the way in which it was interpreted by minds. We called this particular type of numerical consistency in spatial patterning a housing ‘genotype’.”* (Hanson, 1998, p. 32).

pelo *Depthmap* permite a análise de diversas medidas configuracionais através de distintos elementos: linhas (análise axial), células (análise VGA) e polígonos (análise convexa). No caso da atual pesquisa, interessam as distâncias topogeométricas relacionadas à acessibilidade (integração), à visibilidade (integração visual e conectividade), e à profundidade, as quais se dão entre células (análise VGA) e polígonos (análise convexa).

Desse modo, os resultados nas análises são apresentados graficamente em mapas cujas convenções são: 1) integração: cores mais quentes indicam linhas, ou células, mais acessíveis a todas as demais em que se decompõe o edifício, considerando-se a profundidade de todas as outras células, ou linhas, do sistema; 2) conectividade: cores mais quentes indicam células, ou linhas, a partir das quais se vê, ou que interceptam diretamente, o maior número de outras células, ou linhas; 3) integração visual: cores mais quentes indicam células que possuem menor profundidade em relação a todas as outras células do sistema, considerando os passos topológicos em termos de conexões visuais. A Figura 40 apresenta essas análises de modo mais ilustrativo.

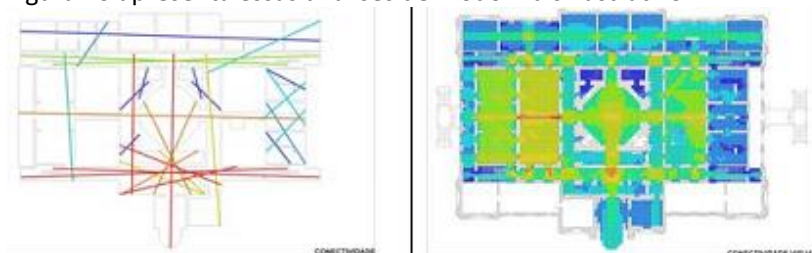


Figura 40 – Exemplos de análise axial, através de linhas, e VGA, através de pontos, respectivamente. Fonte: BECK & TURKIENICZ, 2009.

Como esclarecimento, pode-se afirmar que sempre que uma célula está diretamente conectada (isto é, é diretamente visível) a outra célula, a distância entre elas é considerada como um passo topológico. O mesmo vale para a análise convexa, considerando ambientes que possuam conexão direta como distantes 1 passo topológico entre si. A profundidade média de um espaço (uma célula ou ambiente convexo), portanto, é definida pela quantidade total de passos topológicos necessários para alcançar todos os outros espaços do sistema dividido

pelo total de espaços. Já a profundidade de um espaço é medida pelo número de passos topológicos que se dá a partir de um ponto inicial pré-estabelecido (no caso das residências seria a porta de entrada) até o ponto, ou espaço, em questão.

A análise convexa considera as inter-relações apenas entre ambientes, em nível de acessibilidade e permeabilidade. A mesma permite a análise de medidas como integração, conectividade e profundidade do sistema, já mencionadas anteriormente. No lugar de linhas e células, como apresentado na Figura 40, utilizam-se os próprios ambientes, como polígonos adjacentes conectados, para a obtenção das medidas, semelhante a o que ocorre com os grafos justificados, detalhados mais adiante. Nesse caso, cômodos mais integrados apresentam cores mais quentes, já os cômodos mais segregados, cores mais frias. A Figura 41 ilustra melhor esse tipo de análise.

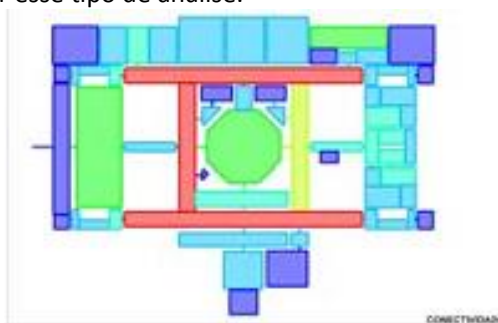


Figura 41 – Exemplo de análise através de mapa convexo. Fonte: BECK & TURKIENICZ, 2009.

A análise por cômodos, proporcionada pelos grafos justificados (Figura 42), revela outros tipos de leitura como medidas de distributividade e simetria. Esse tipo de representação é proporcionado por software denominado *Jass*, o qual permite obter medidas espaciais como integração (RRA), profundidade, profundidade média, valor de controle, conectividade, entre outras.

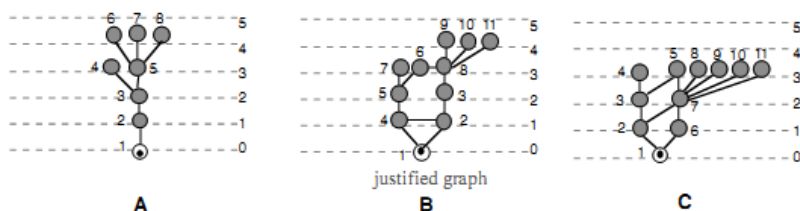


Figura 42 – Exemplos de análise configuracional de três residências através de grafos justificados. Fonte: MONTEIRO, 1997.

Com relação às descrições configuracionais, permitidas através dos grafos justificados, Hanson (1988, p. 23) ²⁰ afirma que: *“Descrições configuracionais, portanto, lidam com o modo como o sistema de espaços se relaciona entre si para formar um padrão, em vez de com as propriedades mais localizadas de um espaço em particular.”*. Porém, a leitura do sistema configuracional como um todo pode ser feita a partir de diferentes espaços formadores do mesmo, dependendo do que se deseje analisar. A Figura 42 exemplifica grafos justificados de três projetos residenciais com análise realizada a partir da porta de entrada da residência, ponto referencial de início do sistema, marcado com um ponto preto. Nesse caso, é possível uma leitura da relação entre os espaços internos e o espaço externo inicial, imediato, da edificação.

A principal diferença entre as análises do tipo VGA e axial, através de células e de linhas respectivamente, e a análise mais antiga (grafos justificados), por cômodos, é que as primeiras permitem observar um quadro mais próximo da real estrutura de acessibilidade e visibilidade do edifício, de modo mais detalhado. Já os grafos justificados permitem a análise do sistema como uma ‘árvore’, com medidas de assimetria, distributividade e profundidade, onde se identificam a presença de ‘anéis’ no mesmo, conforme detalhado adiante. De modo que os tipos de análises se complementam a partir da leitura que cada uma permite.

²⁰ Tradução livre de: *“Configurational descriptions therefore deal with the way in which a system of spaces is related together to form a pattern, rather than with the more localized properties of any particular space.”* (Hanson, 1998, p. 23)

Conforme mencionado, é possível estabelecer relações de simetria e distributividade entre os ambientes representados através de um grafo justificado. Essas caracterizam a estrutura de permeabilidade de um edifício (Figura 43 e Figura 44). Segundo Holanda (2011), a classificação das unidades dá-se do seguinte modo:

“1) espaços tipo “a”, de ligação única, chamados “terminais”; 2) espaços tipo “b”, com duas ligações formando parte de um subcomplexo “em árvore”, ou seja, estão no caminho de/para no mínimo um espaço terminal; 3) espaço tipo “c”, partes de um complexo que não contém espaços “a” nem “b”, cujo número de ligações é igual ao de espaços, isto é, pertencem a “anel” simples; 4) os tipos “d” ligam-se no mínimo a 3 outros espaços e pertencem no mínimo a 2 anéis.” (Holanda, 2011, p.177).

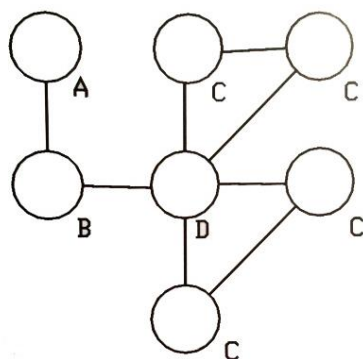


Figura 43 – Classificação dos espaços de acordo com suas conexões. Fonte: HOLANDA, 2011.

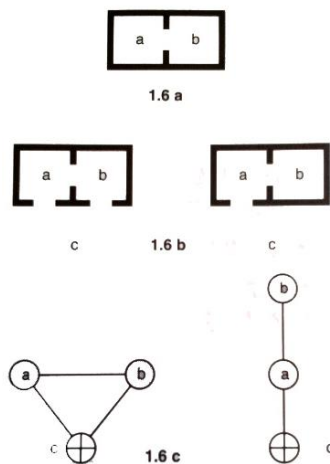


Figura 44 - Classificação dos espaços de acordo com suas conexões. Fonte: HANSON, 1998.

Hillier & Hanson (1984, p. 148) explicam tais medidas de modo ainda mais preciso, de acordo com a Figura 45:

“Sendo assim, a Fig. 88 mostra ‘a’ e ‘b’ em uma relação distributiva e simétrica com relação a ‘c’; enquanto que a Fig. 89 mostra ‘a’ e ‘b’ em uma relação simétrica e não-distributiva com respeito a ‘c’. Fig. 90 mostra ‘a’ e ‘b’ em uma relação assimétrica e não-distributiva com relação a ‘c’. Fig. 91 mostra um caso ligeiramente mais complicado, onde ‘a’ e ‘b’ são simétricos a cada um com respeito a ‘c’, porém, ‘d’ tem relação assimétrica com relação a ambos em respeito a ‘c’. Esse

exemplo, portanto, ilustra uma relação que é ao mesmo tempo distributiva e assimétrica. Fig. 92 inverte isso e espaços 'd' em uma relação não-distributiva e assimétrica com 'a' e 'b', as quais ainda se mantêm simétricas com relação a elas mesmas com respeito a 'd' (ou a 'c').²¹

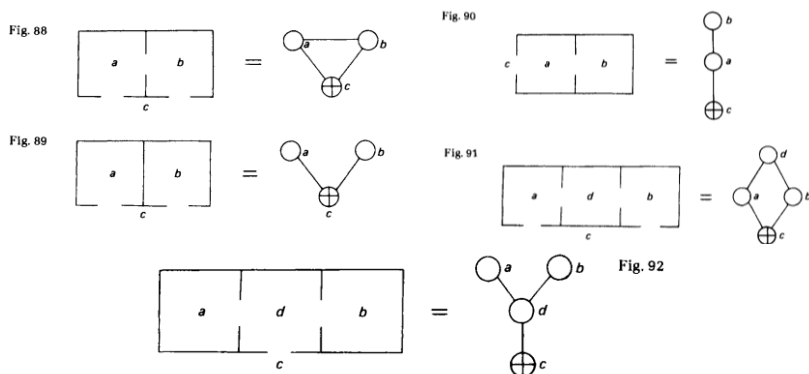


Figura 45 – Configurações espaciais básicas. Fonte: Hillier & Hanson, 1984.

Com relação à medida de distributividade, Holanda (2011, p. 177) afirma que: *“Sociologicamente, tem-se a hipótese: distributividade maior implica frágeis barreiras entre pessoas/práticas no edifício.”*

²¹ Tradução livre de: *“Thus, Fig. 88 shows a and b in a symmetric and distributed relationship with respect to c; while Fig. 89 shows a and b in a symmetric and nondistributed relation with respect to c. Fig. 90 shows a and b in a nondistributed and asymmetric relationship with respect to c. Fig. 91 shows a slightly more complicated case, where a and b are symmetric to each other with respect to c, but d is an asymmetric relation to both with respect to c. This example therefore illustrates a relation that is both asymmetric and distributed. Fig. 92 inverts this and places d in a nondistributed and asymmetric relation to a and b, which still remain symmetric to each other with respect to d (or to c).”* Hillier & Hanson (1984, p. 148).

Desse modo, pode ser identificado dentro das edificações residenciais se as barreiras sociais encontradas nos espaços internos são mais frágeis ou mais fortes, caracterizando assim, maior ou menor grau de interação entre os habitantes.

Medida de simetria, por sua vez, indica o grau em que o edifício classifica pessoas/práticas que organiza. Segundo Holanda (2011), alta simetria, no âmbito sociológico, indica suporte espacial adequado a pequenas diferenciações de status. Desse modo, quanto maior a distributividade e simetria de um sistema, menos hierárquico este se revela com grande possibilidade de reflexo sobre o modo como seus habitantes se relacionam. Revelando um ambiente social, ou sistema configuracional, mais democrático e menos elitista.

Sendo assim, para Hanson (1988), variáveis configuracionais como profundidade e anéis, revelam-se propriedades fundamentais de configurações espaciais arquitetônicas, assim como também, os meios pelos quais a arquitetura pode simbolizar cultura. E a partir dessas variáveis configuracionais, já citadas anteriormente, tem-se um panorama sócio-cultural atrelado a um conjunto específico de espaços, o qual pode caracterizar um modo de se habitar e conseqüentemente, de se relacionar particular àquele determinado grupo de edificações.

Outra medida de sintaxe espacial que pode ser utilizada na leitura de edificações é o índice de fechamento. Esse pode ser definido como sendo o grau em que um sistema é dominado por espaços fechados, ou seja, é o percentual de espaços fechados sobre o número total de unidade convexas do edifício. (Hanson, 1998, p. 230)

Por espaços fechados entendem-se aqueles utilizados para intimidade, para o visitante ou o habitante, onde se desenvolvem atividades como cuidar da higiene pessoal, conversar confidencialmente, dormir junto, fazer amor, ficar recluso por razões quaisquer. Estes podem ser isolados, ou segregados, do resto da casa, sem exceção, a exemplo dos quartos, suítes, banheiros e lavabo. Por outro lado, espaços abertos são aqueles os quais, comumente, nenhuma porta os separa do restante da casa, a exemplo do átrio, estar, cozinha, escritório, lavanderia e garagem.

Já o índice de funcionalidade permite observar a relação entre espaços de atividade e espaços de circulação proporcionada pela decomposição

dos ambientes em unidades convexas. Sendo assim, acerca desse índice, Holanda (2011) afirma: “Chamá-lo-ei ‘índice de funcionalidade’, doravante ‘a/c’: ‘a’ = número de espaços para atividades; ‘c’ = número de espaços para circulação.”.

Esses dois índices permitem uma análise mais física do espaço, ou menos abstrata, considerando também a constituição espacial no âmbito tridimensional, especialmente o índice de fechamento. Fala-se no âmbito tridimensional, uma vez que as medidas consideram espaços mais palpáveis, como os espaços de circulação e aqueles mais segregados, e não ficam apenas no plano abstrato, como medidas de simetria e distributividade. Os espaços de circulação (índice de funcionalidade) configuram ambientes que permitem livre circulação do ar, corredores, e os espaços segregados (índice de fechamento), os quais podem ou não estar abertos para o restante da casa, também refletem na livre circulação interna do ar. Tal capacidade de análise pode ser mais bem explorada quando comparada com medidas de desempenho térmico, considerando-se que os fluxos de ar no interior das edificações são controlados por diferenças de pressão do ar em distintas regiões.

Na atual pesquisa, devido à maior representatividade comprovada em pesquisas anteriores, foram utilizadas para análise as representações proporcionadas pelos: mapas axiais (*All-Line Maps*), inicialmente no estudo piloto; mapas de visibilidade (*VGA Maps*), mapas convexos (*Convex Maps*); e pelos grafos justificados. Consideraram-se as respectivas medidas sintáticas proporcionadas por esses (integração, conectividade e profundidade), além do uso de medidas de análise social e espacial como o índice de fechamento e o índice de funcionalidade.

2.4.3. Estudos de caso

Apesar de ser mais disseminado o uso da sintaxe espacial na leitura dos espaços urbanos, em maior escala, também foram desenvolvidas leituras e modos de interpretação dos espaços internos das edificações, em menor escala.

Selecionaram-se então alguns estudos já desenvolvidos na área da sintaxe espacial, os quais levam em consideração os espaços internos de residências como modo de embasar e auxiliar no desenvolvimento das ferramentas de análise da atual pesquisa.

Hillier et al (1987) analisaram um conjunto de residências rurais provenientes de várias regiões da França pretendendo identificar aspectos culturais dos habitantes como modo de testar a ferramenta de análise sintática espacial (Figura 46). Com relação às intenções da pesquisa, os autores afirmam que:

*“Foi então acordado que as análises deveriam ser inicialmente desenvolvidas ‘cegamente’, sem informações a mais acerca das plantas legendadas de acordo com suas funções (...). Informações de cunho social, econômico e cultural seriam exploradas apenas após as análises espaciais iniciais.”*²² (Hillier et al, 1987).

“Ideas are in things” (Hillier et al, 1987) é um dos textos básicos da sintaxe espacial para o entendimento da análise configuracional de edificações residenciais, somado aos demais textos publicados posteriormente na publicação “Decoding Homes and Houses” (Hanson, 1998).

No estudo em questão as análises identificaram dois genótipos, os quais expressam profundas diferenças nas formas de socialização. O tipo da ‘sala comum’ (*salle commune* - sc), mais integrador e o tipo centrado na transição, mais segregador. O primeiro pode ser enxergado como um modelo ‘constitutivo’ ou ‘espacial’ no qual a função social do espaço é expressa diretamente através da maneira na qual o padrão social é vivido; já o segundo pode ser enxergado como um modelo ‘representativo’ ou ‘conceitual’, no qual espaços com funções individuais incorporam uma função espacial mais através da

²² Tradução livre de: “It had been agreed that the analyses should initially be carried out ‘blind’, with no information apart from the plan labeled with its various functions (...). Social, economic and cultural information would be explored only after the initial spatial analysis.”

separação e do controle do que através da organização de inter-relações complexas.

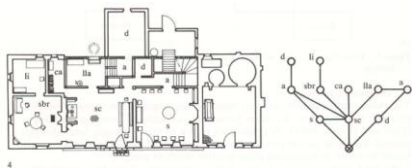


Figura 46 – Casa 04, exemplo de tipo ‘sala comum’. Fonte: HILLIER ET AL, 1987.

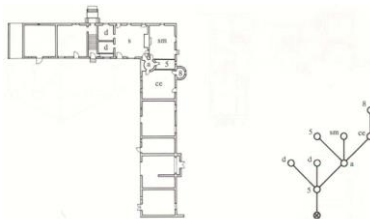


Figura 47 – Casa 17, exemplo de tipo centrado na transição. Fonte: HILLIER ET AL, 1987.

Monteiro (1997), por sua vez, comparou dois padrões espaciais de atividades domésticas observados em distintos grupos sociais, habitações sociais (apartamentos e casas de favela) e residências de classe média, baseando-se na análise da estrutura e configuração espacial de cada residência. Segundo a própria autora, “Essa pesquisa foi desenvolvida com o intuito de se entender como distintos grupos de atividades refletiam conceitos culturais e sociais de distribuição espacial dentro de uma residência.”²³ Esse foi um dos primeiros estudos espaciais de residências a ser identificado pela autora da atual pesquisa e teve importância para determinação de ferramentas e representações a serem utilizadas na análise de edificações residenciais, fazendo uso de grafos convexos e justificados.

²³ Tradução livre de: “This research was set up to understand how different groups of activities reflected cultural and social concepts of spatial distribution within a dwelling.” (Monteiro, 1997, p. 1).

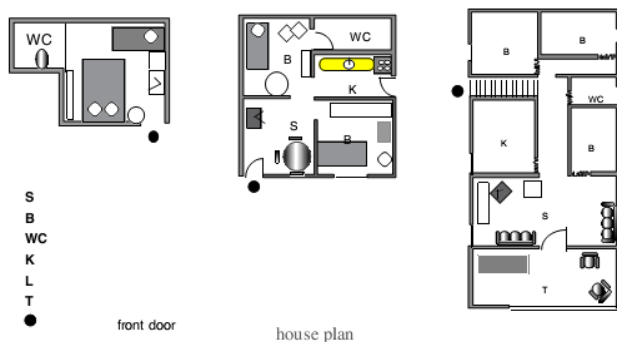


Figura 48 – Exemplos de barracos e casas de favela analisados pela autora.
Fonte: MONTEIRO, 1997.

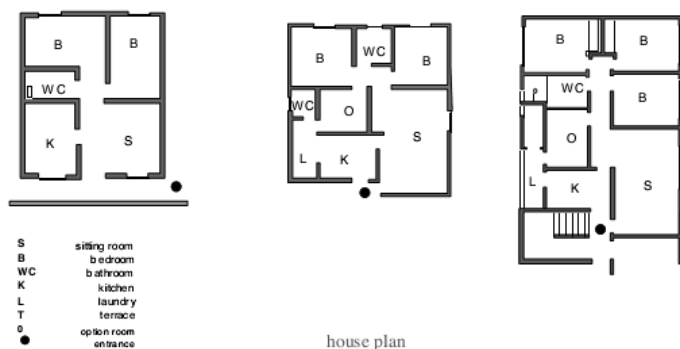


Figura 49 - Exemplos de habitação social analisada pela autora. Fonte:
MONTEIRO, 1997.

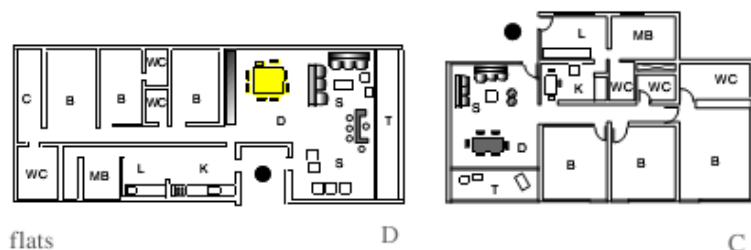


Figura 50 - Exemplos de apartamentos de classe média analisados pela autora.
Fonte: MONTEIRO, 1997.

Encontrou-se como resultado que os barracos e casas de favela (Figura 48) possuem atividades domésticas bastante integradas, o que pode ser explicado também pelo tamanho dessas edificações. Porém, claramente refletem uma experiência cultural aberta e integrada com uma estrutura centrada na mulher, a qual necessita controlar a maior parte das atividades domésticas. Surge então a hipótese que nessas casas privacidade é uma questão de tempo e não de espaço. Identificou-se também que o padrão de profundidade dessas residências mostra que atividades com altos níveis de integração ocorrem na área central das mesmas.

Já as habitações sociais (Figura 49) apresentam outro padrão social de funcionamento. Há uma forte distribuição estrutural de áreas funcionais. Uma forte correlação entre integração e profundidade sugere estruturas espaciais que não permitem flexibilidade de uso. Apresentam também atividades de lazer sendo puxadas de espaços mais integrados como sala de estar, para espaços mais segregados.

No caso dos apartamentos de classe média (Figura 50) também há uma tendência para atividades de lazer segregadas, porém com uma maior flexibilidade nos espaços em comparação às habitações sociais. Apresentam atividades integradas e, assim como as habitações sociais, apresentam forte correlação entre integração e profundidade.

Amorim (1999), em sua tese, intencionou estudar o desenvolvimento da arquitetura modernista (Figura 51) e pré-modernista (Figura 52) do Recife/PE entre os períodos de 1930 e 1970, e entender de que maneira esse novo modo de projetar e organizar os espaços (modernista), muitas vezes de forma mais setorizada, influenciou no modo de viver e se relacionar dos habitantes dessas edificações. Com relação ao estudo, o autor afirma: *“Ele demonstra que ambos, a forma interna dos setores e a maneira como esses se conectam entre si são a chave determinante para a diferenciação de atividades domésticas e membros familiares em ambos os tipos de residências, histórico e moderno.”*²⁴.

²⁴ Tradução livre de: *“It shows that both the internal form of the sectors and the way they are linked together are the key determinant for differentiating domestic activities and household members in both historical and modern dwellings.”* (Amorim, 1999, p. 2).



Figura 51 – Exemplo de residência modernista analisada no estudo. Fonte: AMORIM, 1999.

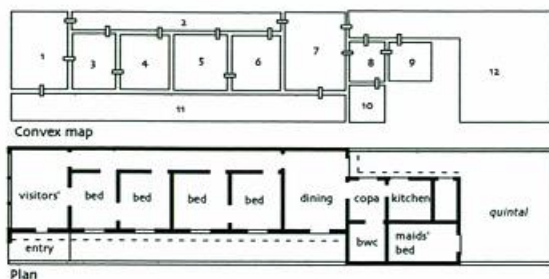


Figura 52 – Exemplo de residência eclética (pré-modernista) analisada no estudo. Fonte: AMORIM, 1999.

Intencionando descrever a morfologia espacial de residências modernistas brasileiras, Amorim (1999) provou que o conceito de setores domésticos era de fato como difundido nos textos descritivos e prescritivos arquitetônicos assim como na própria forma arquitetônica. Segundo o próprio autor, “A maioria das casas modernas classificam-se e agrupam tipos similares de atividades domésticas em setores discretos e organizam o complexo doméstico, tendo em vista a manutenção da unidade dos setores e para sustentar uma estrutura orgânica total. Nesse sentido, a organização setorial proporciona a

*estrutura necessária para dar lógica e funcionalidade à residência.”*²⁵ (Amorim, 1999, p. 383).

O mesmo ainda identificou que apesar das residências apresentarem um substancial conjunto de arranjos fenótipos, também apresentam consistentes padrões na forma de arranjos setoriais genótipos. Ou seja, existe um padrão de arranjo formal de setores que se repetem em quase todos os casos das residências modernistas. Com relação a esse fato Amorim (1999) ainda afirma:

*“Esses setores ‘genótipos’, identificados através do rank de integração dos setores e substancialmente através de outros dados sintáticos, como profundidade e ocorrências de tipos de espaços, revelaram que a casa modernista coloca seus setores de serviços e sociais no centro de suas configurações e segregam os espaços públicos e privados.”*²⁶ (Amorim, 1999, p. 383).

Beck & Turkienicz (2009), exploram a questão da análise visual somada à permeabilidade em ambientes internos, estudando o processo de cognição espacial dos visitantes no interior da Pinacoteca do Estado de São Paulo, edificação histórica recentemente revitalizada pelo

²⁵ Tradução livre de “The majority of the modern houses classify and group similar kinds of domestic activities into discrete sectors and organise the domestic complex, in order to keep the unity of the sectors and to sustain an organic structure for the whole. In this sense, the sectors’ organisation provides the necessary underlying structure to give logic and functionality to the house.” (Amorim, 1999, p. 383).

²⁶ Tradução livre de “These ‘sectors ‘genotypes’, identified by the rank order of integration of the sectors and substantiated by other syntactic data, like depth and space-type occurrence, revealed that the modern house should put the social and service sectors at the centre of its configuration and segregate the private and public spaces.” (Amorim, 1999, p. 383).

arquiteto Paulo Mendes da Rocha. Desse modo, os autores afirmam que *“O objetivo básico desta representação é analisar o ‘layout’ de inteligibilidade de rota e descrever se as conexões que são exclusivamente visuais adicionam mais estrutura e níveis de predição à rota dos visitantes.”*²⁷. A Figura 53 demonstra melhor os tipos de representação adotados na pesquisa.

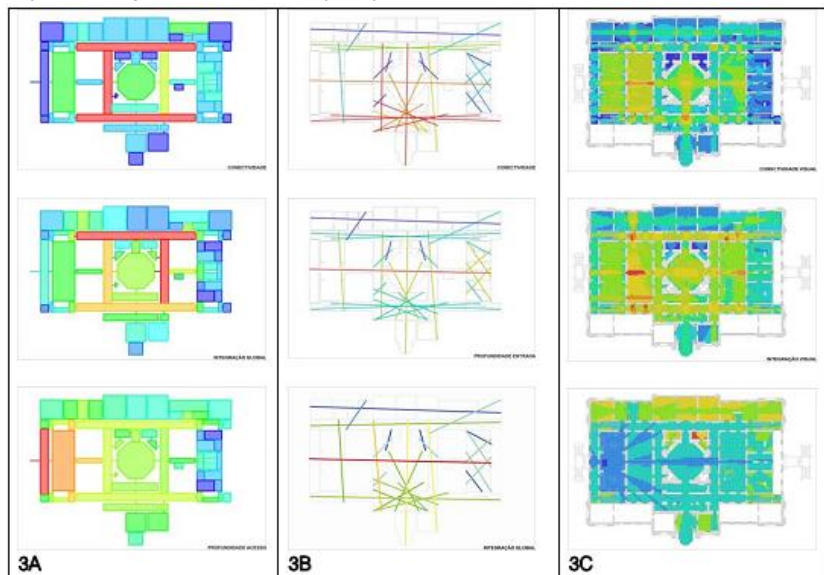


Figura 53 – Tipos de representação utilizados na condução da pesquisa de Beck & Turkienicz (2009). Mapas convexos, mapas axiais e mapas VGA (conectividade, integração e profundidade a partir da entrada), respectivamente. Fonte: BECK & TURKIENICZ, 2009.

Os autores chegaram à conclusão que a disponibilidade e permanência de informação visual podem influenciar na inteligibilidade de configurações espaciais. Além disso, há a necessidade de diferenciação

²⁷ Tradução livre de: *“The basic objective of this representation is to analyze the layout in terms of route intelligibility and to depict as to whether or not the connections that are exclusively visual add more structure and levels of prediction to the visitors route.”* (Beck & Turkienicz, 2009, p. 009:3).

metodológica entre relações de visibilidade e permeabilidade para análises de configuração espacial. Os mesmos ainda fazem a crítica que os programas de computação poderiam distinguir relações de permeabilidade daquelas exclusivamente visuais para uma simulação mais detalhada dos movimentos exploratórios humanos. Sendo assim, tais aspectos citados e outros igualmente importantes aspectos do ambiente construído como materiais, cores, iluminação e texturas podem levar a resultados mais bem estruturados de correlação entre aspectos fenomenológicos da arquitetura tendo em vista localização e cognição espacial.

O artigo em questão, mais atual que os demais citados anteriormente, serviu de base para estudos espaciais os quais consideram a medida de integração visual, até então, não muito comum no estudo configuracional de edificações residenciais.

Sendo assim, os estudos apresentados fornecem uma gama de aplicações das ferramentas da sintaxe espacial, as quais serão utilizadas na pesquisa em questão, conforme detalhado a seguir na metodologia.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os métodos e as técnicas que devem ser utilizados para o desenvolvimento da pesquisa com intuito de se atingir os objetivos propostos.

Será analisado o comportamento de tipos edilícios, considerando a forma construída, coletados conforme padrão estabelecido em metodologia, projetados para clima quente e úmido, mais especificamente para a cidade de Natal/RN e região metropolitana.

Por forma construída entende-se a composição espacial tridimensional, o volume, a caixa mural, a casca, o sólido, a barreira, o envelope, ou a envoltória de uma edificação.

Dentro dessa perspectiva, pretende-se utilizar procedimentos de análise morfológica, dentre os quais se dará ênfase à análise sintática do espaço, trazendo à luz a teoria da Lógica Social do Espaço (Hiller & Hanson, 1984), assim como também a análise visual do espaço (Turner et al, 2001). Isso junto a procedimentos de simulação do desempenho térmico dos modelos selecionados como amostragem submetidos à ventilação natural.

Deve-se levar em conta que a ventilação cruzada é indicada pela literatura, conforme verificado no capítulo seguinte, como a mais indicada, e predominante, para o clima da localidade estudada, tendo em vista um bom aproveitamento dos ventos constantes e a baixa amplitude térmica.

Serão destacadas as análises de parâmetros de desempenho térmico, com auxílio do programa *EnergyPlus*, relacionados diretamente com medidas de Sintaxe Espacial, extraídas a partir do uso do software *Depthmap*, além de outros modos de análise espacial mais tradicionais da Sintaxe Espacial já citados. Desse modo, a metodologia proposta abrange as seguintes etapas:

1. Buscar na literatura estudos que vinculam abordagens de projeto nos campos disciplinares de morfologia em sentido mais amplo [i.e. Steadmann (2003), Olgyay (1963), Martin (1967), Burberry (1983)], de bioclimatologia [i.e. Olgyay (1963), Givoni (1998)], de análise sintática do espaço [i.e. Frederico de

Holanda (2011), Hillier & Hanson (1984), Hanson (1988), Turner (2001), Turkienicz (2009)] e de desempenho térmico, considerando o uso da ventilação natural [Sorgato (2009); Versage (2009)]. Assim como também, buscar dados acerca do clima de Natal [Cartas Bioclimáticas, arquivos climáticos (.EPW)]. Caracterizando, assim, um suporte de registro à pesquisa do tipo bibliográfico.

2. Escolha dos modelos a serem analisados através de amostragem aleatória simples.
3. Aquisição dos projetos residenciais da amostra coletados em escritórios de arquitetura da cidade de Natal/RN.
4. Preparo dos modelos sintáticos e de desempenho térmico segundo os parâmetros definidos para o estudo, conforme detalhado a seguir.
5. Simulação do desempenho térmico dos modelos desenvolvidos a partir das edificações selecionadas como amostra, explorando especialmente aspectos relacionados à ventilação natural, estratégia bioclimática indicada para o clima em estudo.
6. Simulação e análise sintática dos espaços interiores de cada modelo, verificando questões de permeabilidade, visibilidade e profundidade.
7. Comparação dos resultados extraídos (medidas de sintaxe e desempenho térmico conforme definidas mais a frente nos procedimentos) de cada modelo estudado fazendo uso de

recursos estatísticos como análise de correlação e gráficos em barra e de dispersão, depois de tratados os dados qualitativos e quantitativos obtidos através das simulações.

3.1. PROCEDIMENTOS DE SIMULAÇÃO

3.1.1. Procedimentos da análise térmica

Foram utilizadas simulações energéticas realizadas através do software *EnergyPlus* para verificar o número de horas de conforto térmico durante o ano (Graus-hora/ano) obtidos através do uso da ventilação natural. Desse modo, por Graus-hora para resfriamento (GHR) entende-se:

“Indicador de desempenho térmico da envoltória da edificação naturalmente ventilada, baseado no método dos graus-hora, que utiliza uma temperatura base, independente de temperaturas de conforto, consistindo em uma temperatura de referência para comparações. Neste RTQ, o indicador representa o somatório anual de graus-hora, calculado para a temperatura de base de 26°C para resfriamento. O cálculo é realizado através da temperatura operativa do ambiente.”
(ELETROBRÁS/PROCEL, 2011).

Foram construídos modelos, ou maquetes virtuais, de cada uma das edificações selecionadas. Porém, o único aspecto particular de cada uma dessas edificações a ser preservado seria sua espacialidade, ou seja, o modo como a distribuição dos espaços se dá em cada projeto,

conforme os modelos simulados inicialmente em projeto piloto Figura 54 e Figura 55.



Figura 54 – Exemplo de modelo simulado no *EnergyPlus*.



Figura 55 - Exemplo de modelo simulado no *EnergyPlus*.

Os modelos foram divididos em zonas - de acordo com o tipo de socialização que se estabeleceria em cada uma delas, como Zona Íntima, Social ou de Circulação - como modo de simplificar as análises de desempenho térmico no *EnergyPlus*, porém, considerando-se que o padrão de circulação interna do vento será mantido através da permanência das aberturas internas originais entre zonas, na forma de portas.

Todos os demais aspectos construtivos como tamanho e tipo de aberturas, fechamentos, cobertura, pé-direito, piso e sombreamento foram padronizados, de modo que a variável espacialidade pudesse ser isolada e melhor analisada, como apresentado na Tabela 8. Os aspectos construtivos foram determinados observando-se as características construtivas mais comuns encontradas na amostra coletada. Alguns valores de propriedades térmicas, nesse caso de Absortância, foram ajustados após a realização do estudo piloto. Substituíram-se as absortâncias (α) das vedações e da cobertura de 0,2 para 0,4, mais adequados aos materiais adotados.

Tabela 8 – Propriedades térmicas e ópticas utilizadas nos modelos simulados, baseados em aspectos construtivos comuns da amostra coletada. Fonte: LABEEE (2010); ABNT (2005).

	Materiais	Propriedades térmicas	Propriedades ópticas
Vedações	Parede alvenaria comum, esp. 14 cm.	$U = 2,59$ [W/(m ² K)]	-
	Revestimento interno e externo em argamassa (25	$\alpha = 0,4$ $C_T = 145$ [kJ/m ² K]	

mm) com
acabamento na
cor branco.

Aberturas	Vidro simples (3 mm)	$\alpha = 0,06$ $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$ $\lambda = 1,00 \text{ W/m.K}$ $C = 0,84 \text{ KJ/kg.K}$	$r = 0,075$ $tg = 0,84$ $\varepsilon = 0,84$
	Veneziana em madeira fixa (cor clara)	$\alpha = 0,5$ $\rho = 200 \text{ kg/m}^3$ $\lambda = 0,058 \text{ W/m.K}$ $C = 2,30 \text{ KJ/kg.K}$	-
Cobertura	Telhado inclinado (Telhas coloniais) Camada de ar (>5,0cm) Laje Mista (concreto + alvenaria = 12,00 cm) Camada de ar (>5,0 cm) Forro em gesso (3,0 cm)	$U = 1,79$ $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$ $\alpha = 0,4$ $C_T = 185$ $[\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}]$	-
Piso	Piso em cerâmica	$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ $\lambda = 0,70 \text{ W/m.K}$ $C = 0,92 \text{ KJ/kg.K}$	-
	Laje em concreto mista (piso intermediário = 0,12 cm)	$U = 2,95$ $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$ $\alpha = 0,4$ $C_T = 167$ $[\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}]$	-
	Laje em concreto	$U = 3,73$	-

maciço (contato com o solo)	$[W/(m^2K)]$ $\alpha = 0,4$ $C_T = 220$ $[kJ/m^2K]$
-----------------------------	--

Para as simulações foi utilizado o arquivo climático (.EPW) de Natal/RN, elaborado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE/UFSC), em todos os modelos. Visando uma maior padronização, as aberturas externas serão dimensionadas seguindo o Código de Obras da Cidade de Natal (PREFEITURA MUNICIPAL DE NATAL, 2009), o qual especifica um mínimo de 1/6 da área do ambiente (ambientes de permanência prolongada) e 1/8 da área do ambiente (ambientes de permanência temporária). Pelo fato das cozinhas estarem cada vez mais integradas com o restante da casa, essa foi considerada como ambiente de permanência prolongada. Não foram adotadas as dimensões originais de aberturas de projeto de cada residência, considerando-se que isso influenciaria no desempenho térmico dos modelos, uma vez que projetos com aberturas maiores teriam seus desempenhos térmicos beneficiados, ou não, adicionando-se mais uma variável à análise. Procurou-se então posicionar-se as aberturas de acordo com o projeto original, porém, adaptando-se suas respectivas dimensões, tendo em vista a padronização almejada.

As aberturas externas utilizadas nas simulações de desempenho térmico são do tipo janelas com duas folhas de correr em vidro conforme apresentado pela Figura 56. O coeficiente de descarga (C_D) dessas aberturas é de 0.6 para um fator de abertura máximo de 0.5.



Figura 56 – Tipos de aberturas externas adotados nas simulações de desempenho térmico.

Vale mencionar que foram utilizadas venezianas fixas (dispositivos de proteção solar) em madeira clara em todas as janelas externas como modo de amenizar os efeitos causados pela radiação direta, e

consequentemente, melhorar o desempenho térmico dos modelos. Lembrando que é uma estratégia bastante comum em boa parte das residências em clima tropical, onde a incidência solar é intensa, considerando que as janelas em geral são de madeira e com venezianas acopladas ou móveis.

As aberturas internas, entre zonas, são do tipo portas pivotantes em madeira. O coeficiente de descarga (C_D) dessas aberturas utilizado foi de 1 para um fator de abertura máximo de 1. Para aberturas horizontais, como mezaninos e escadas, foram utilizadas também aberturas do tipo portas com coeficiente de descarga (C_D) de valor 1 para um fator de abertura máximo de 1. Todas as aberturas internas foram consideradas abertas durante todo o tempo das simulações, tendo em vista o livre fluxo do vento nos ambientes internos.

As simulações térmicas permitirão a análise do comportamento da ventilação no interior dos projetos durante o período anual de 8760 horas, fornecendo valores de temperatura operativa interna (Graus-hora para resfriamento). Entretanto, não serão consideradas cargas térmicas internas, uma vez que, se tratando de residências, seria muito difícil prever os hábitos e comportamento diário de uma família padrão, ou um padrão de ocupação. Desse modo, somente será considerada a capacidade da própria edificação de ganhar e perder calor ao longo do dia.

Para a simulação da ventilação natural foi utilizado o modelo de rede do EnergyPlus, *AirflowNetwork*, com tipo de controle *MultizoneWithoutDistribution*, com múltiplas zonas interconectadas, porém, a parte do sistema de distribuição de ar não é modelado. O tipo de coeficiente de pressão do vento utilizado foi o *SurfaceAverageCalculation*, utilizado para edificações retangulares. Altura para cálculo da velocidade do vento foi estabelecida como sendo a mesma das aberturas (*Opening Height*), considerando que todas as edificações simuladas são de pequena altura (*Low rise*), conforme Figura 57.

Sem dis

Field	Units	Obj1
Name		Sist_Ventilacao
AirflowNetwork Control		MultizoneWithoutDistribution
Wind Pressure Coefficient Type		SurfaceAverageCalculati ▾
AirflowNetwork Wind Pressure Coefficient Array Name		
Height Selection for Local Wind Speed Calculation		OpeningHeight
Building Type		LowRise
Maximum Number of Iterations	dimensionless	500
Initialization Type		LinearInitializationMethod
Relative Airflow Convergence Tolerance	dimensionless	0.0001
Absolute Airflow Convergence Tolerance	kg/s	0.000001
Convergence Acceleration Limit	dimensionless	-0.5
Azimuth Angle of Long Axis of Building	deg	0
Ratio of Building Width Along Short Axis to Width Along		1

Figura 57 – Modelo zonal de rede do ENERGYPLUS selecionado para as simulações de desempenho térmico.

O peitoril das aberturas é padrão: 1.50m, para banheiros, depósitos, áreas de serviço e circulações; 0.50m, para salas e quartos; e 0.90m, para cozinhas. A altura das aberturas também foi padronizada: 0.50m, para banheiros, depósitos, áreas de serviço e circulações; 1.60m, para salas e quartos; e 1.20m, para cozinhas. O pé-direito de cada pavimento foi mantido a uma altura de 2.70m.

As taxas de troca de ar (ach - *air changes per hour*) por zona, de cada modelo, foram igualmente analisadas, tendo em vista que essas indicariam se uma determinada zona está sendo bem ventilada, com boa infiltração direta, e se isso estaria ligado à sua posição (orientação) com relação aos ventos predominantes. Desse modo, o número de trocas de ar é calculado por hora para um total anual de 8760 horas, considerando cada zona. Para facilitar as correlações finais entre variáveis, após a obtenção dos dados, foi calculada a média aritmética anual de trocas de ar por zona, obtendo-se valores médios para a variável em questão. Posteriormente, também foram calculados os valores médios por modelo para comparação com variáveis que devem ser calculadas por modelos, e não por zonas, como índice de funcionalidade e índice de fechamento. Deve-se considerar que a infiltração somente é calculada quando há abertura externa. Vale salientar que a inserção da análise das taxas de trocas de ar foi considerada importante de ser explorada somente após aplicação do estudo piloto.

Foram realizadas simulações considerando-se dois tipos distintos de operação da ventilação, janelas sempre abertas ou janelas sempre

fechadas, como modo de se observar a real importância da ventilação em cada tipo, ou forma arquitetônica, analisado para manutenção de uma temperatura operativa interna aceitável. Assim como também é interessante salientar que é comum se utilizar a ventilação natural quase que durante todo o tempo na cidade de Natal, uma vez que o clima ameno, com pequenas variações de temperatura e umidade, e com ventilação constante permite isso.

Decidiu-se inserir também, após realização do estudo piloto, uma medida proveniente do RTQ-C (ELETROBRAS/PROCEL,2010), o percentual de abertura na fachada (PAFt), tendo em vista que a mesma permitiria classificar os modelos de acordo com o percentual de área de fachada exposta à radiação solar, fator que pode vir a influenciar no desempenho térmico dos mesmos, além de possibilitar mais um tipo de análise a ser feita quanto à forma das edificações.

Acerca do PAFt (Percentual de área de abertura na fachada total) o RTQ-C (2010) afirma que:

“É calculado pela razão entre a soma das áreas de abertura envidraçada, ou com fechamento transparente ou translúcido, de cada fachada e a área total de fachada da edificação. Refere-se exclusivamente a aberturas em paredes verticais com inclinação superior a 60° em relação ao plano horizontal, tais como janelas tradicionais, portas de vidro ou sheds, mesmo sendo estes últimos localizados na cobertura. Exclui área externa de caixa d’água no cálculo da área de fachada, mas inclui a área da caixa de escada até o ponto mais alto da cobertura (cumeeira).”
(ELETROBRAS/PROCEL,2010, p. 10).

Sendo assim, a Figura 58 ilustra o cálculo do PAFt de maneira resumida. No RTQ-C esse valor calculado é então aplicado na equação do indicador de consumo da envoltória (IC_{env}), porém, na atual pesquisa essa aplicação não será relevante, tendo em vista apenas a extração de mais uma medida de classificação da forma arquitetônica para análise.

$$PAF_T = \frac{\sum \text{Áreas das aberturas}}{\sum \text{Áreas das fachadas} - (\text{Área da caixa d'água})}$$

Figura 58 – Equação de cálculo do PAFt (Percentual de área de abertura na fachada total).

3.1.2. Procedimentos da análise espacial

As análises espaciais dividiram-se em análise VGA (Figura 60), convexa (ambas realizadas através do software *Depthmap*), e através de grafos justificados (através do software *Jass*). Foram analisadas medidas de sintaxe espacial como conectividade, integração e profundidade. Além dos índices de funcionalidade e de fechamento extraídos a partir das próprias plantas baixas dos projetos. A medida *choice* acabou sendo descartada, após o estudo piloto, tendo em vista que já existiam medidas sintáticas suficientes para mensurar permeabilidade e visibilidade.

A análise axial (através de linhas), Figura 59, foi utilizada inicialmente no estudo piloto, comentado mais a frente, para obtenção de valores de integração e conectividade (permeabilidade), porém não será adotada nas análises finais uma vez que foi observado que a análise VGA a substitui deixando o estudo menos repetitivo.

Cada edificação teve seu projeto simplificado em termos de circulação (permeabilidade) e visibilidade interna (inteligibilidade) e, para fins de simplificação, foram consideradas como abertas todas as portas (eventuais barreiras), para as simulações de permeabilidade, e janelas, para as simulações de visibilidade, considerando-se que a análise se dá na altura da visão do observador ($h \approx 1,60m$)²⁸. Vale salientar que as análises espaciais de permeabilidade e visibilidade se dão apenas

²⁸ Considerando-se que altura do brasileiro médio do sexo masculino varia entre 1.65m e 1.72m, e a altura da brasileira média varia entre 1.52m e 1.61m, segundo dados do IBGE do último censo de 2009 (IBGE, 2010).

internamente, desconsiderando a relação interior-exterior das residências.

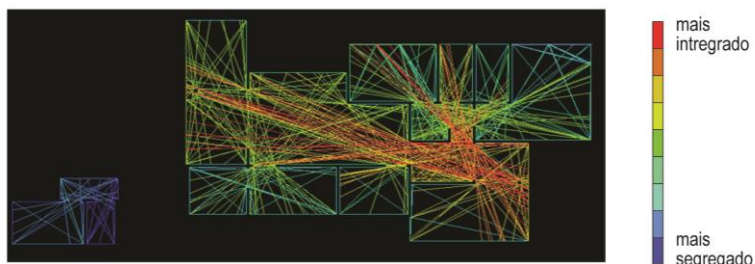


Figura 59 – Exemplo de análise de permeabilidade (axial) desenvolvida em estudo piloto detalhado mais a frente. As linhas em cores mais quentes representam caminhos, ou retas, mais integrados. Já os de cores mais frias representam caminhos mais segregados.

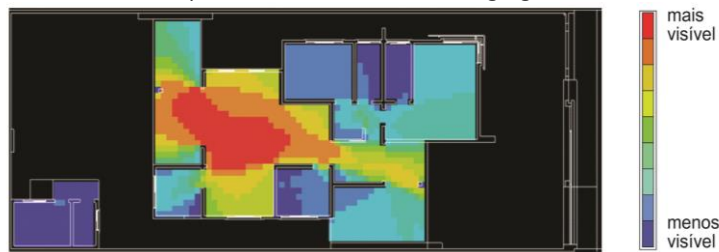


Figura 60 - Exemplo de análise de visibilidade (VGA) desenvolvida em estudo piloto detalhado mais a frente. As células em cores mais quentes representam pontos de maior visibilidade. Já aquelas de cores mais frias representam pontos de menor visibilidade.

A análise convexa permite que os espaços sejam analisados como polígonos interligados, os quais possibilitam análise de medidas como integração, conectividade e profundidade, de interesse para a atual pesquisa, conforme Figura 61. No caso da atual pesquisa alguns espaços convexos foram mesclados, pois além de serem contíguos, apresentam funções semelhantes dentro da residência.

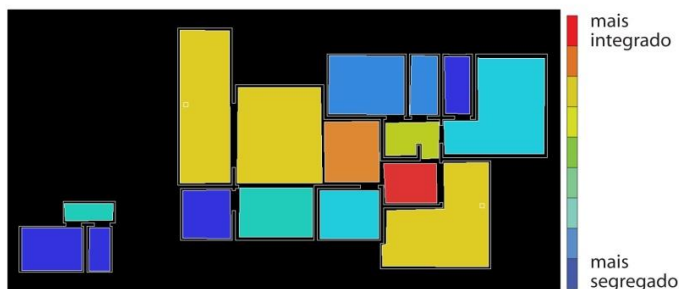


Figura 61 – Exemplo de análise convexa aplicada na pesquisa. As cores mais quentes representam espaços mais integrados e as cores mais frias espaços mais segregados.

Outro tipo de análise espacial, mais tradicional e já detalhada anteriormente, utilizando grafos, também será empregado para comparação dentro da atual pesquisa, permitindo traçar um paralelo com trabalhos posteriores os quais fazem uso da mesma ferramenta na análise de residências. Esses são mais conhecidos como grafos justificados. As análises serão realizadas considerando-se o ponto inicial do sistema na porta de entrada da casa, já considerando o espaço exterior, e os espaços serão identificados de acordo com seu respectivo uso: social, serviço, íntimo, circulação e jardim, conforme os modelos já simulados em estudo piloto (Figura 62).

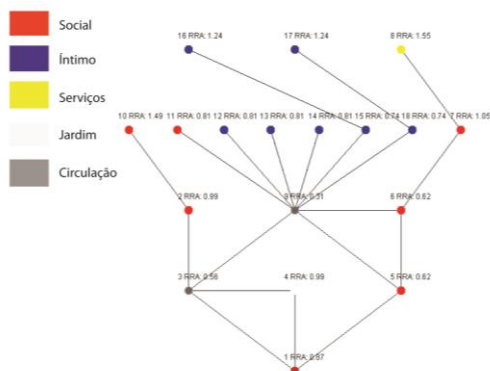


Figura 62 – Exemplo de análise através de grafo justificado desenvolvido no estudo piloto.

Através das simulações de sintaxe espacial será possível extrair dados relevantes quanto à espacialidade de cada um dos projetos, os quais somados a outros dados proporcionados por outros tipos de leituras espaciais da sintaxe citadas anteriormente poderão prover também uma base de dados acerca do conteúdo cultural de cada um dos casos analisados.

3.1. CONFRONTAÇÃO DE DADOS DAS ANÁLISES

Os dados obtidos através da análise de Sintaxe Espacial e das simulações de desempenho térmico são cruzados fazendo-se uso de recursos estatísticos como análise de correlação e gráficos em barra e de dispersão, depois de tratados os dados qualitativos e quantitativos obtidos através das simulações.

Desse modo, deve-se salientar que os valores para correlações encontrados na pesquisa variam numa escala entre 0.0 e 1.0, sendo inversamente proporcionais (negativas) ou diretamente proporcionais (positivas), e são classificadas conforme a Figura 63.

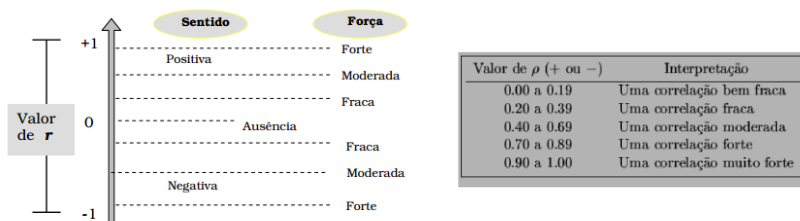


Figura 63 – Sentido e força da correlação em função do valor de r . Fonte: Barbetta, 2007.

Sendo assim, para as análises térmicas, os dados são extraídos por zonas em cada tipo de simulação, e em alguns casos, são calculadas médias aritméticas de variáveis, como no caso das taxas de trocas de ar. Já no caso dos Graus-hora anuais (GHR) é obtida a soma dos mesmos que se situam acima dos 26°C, por zona, para o período 8760 horas.

Para as análises sintáticas, Sintaxe Espacial, são também extraídos dados por zona, considerando o mesmo zoneamento das análises térmicas. Calcula-se então a média dos valores de cada ponto pertencente à zona em questão, considerando-se a extração de

medidas como conectividade, integração e integração visual, através o uso do software Depthmap.

Com relação aos índices de funcionalidade e índice de fechamento, os mesmos foram calculados para cada modelo, e não por zona, como as variáveis citadas anteriormente. Posteriormente, esses foram confrontados com as médias aritméticas das zonas, das variáveis citadas anteriormente, calculadas nesse caso por modelo.

3.2. ESTUDO PILOTO

O estudo piloto foi desenvolvido para testar inicialmente o método a ser desenvolvido na pesquisa. Desse modo, foram coletados alguns projetos de Trabalhos Finais de Graduação (TFG) e de profissional para aplicar o mesmo.

Esses projetos foram escolhidos devido à facilidade de acesso em um curto espaço de tempo, pois foram coletados diretamente de trabalhos de graduação concluídos, de fácil acesso na biblioteca, enquanto que projetos de profissionais precisariam de um pouco mais de tempo para serem coletados.

Sendo assim, foram coletados três projetos provenientes de trabalhos de graduação e outro de profissional, o qual era de fácil acesso, conforme detalhado mais a frente no item 4.1, em Resultados. Todos os projetos utilizados no estudo piloto foram selecionados conforme a seguinte lógica: deveriam ter sido projetados para o clima de Natal, com padrão social e áreas úteis semelhantes (150,00m² a 300,00m²), além de serem contemporâneos.

A partir do estudo piloto foi possível identificar quais medidas continuariam sendo exploradas na pesquisa final, quais seriam acrescentadas e quais seriam descartadas.

Sendo assim, inicialmente, na análise sintática seriam utilizados mapas axiais, mapas VGA e grafos convexos, assim como foi explorado o índice de fechamento. Porém, após a realização do estudo piloto, pensou-se em simplificar e tornar menos repetitivas as análises mantendo-se apenas os mapas VGA e os grafos convexos. Foi mantida a medida índice de fechamento e acrescentado o índice de funcionalidade, a qual também acrescentaria informações de interesse à pesquisa. Através dos mapas VGA foram extraídas medidas de conectividade, integração [HH] e integração visual. A medida *choice* acabou sendo descartada como modo de simplificar as análises.

Na parte da análise térmica, através das simulações foram extraídas inicialmente só o número de Graus-hora (GHR) anual. Porém, após o estudo piloto foram acrescentadas as medidas taxas de trocas de ar (ach) e PAFt (Percentual de área de abertura na fachada total). A primeira foi considerada importante, pois, seria possível traçar um paralelo entre ventilação e desempenho térmico, nesse caso qual seria a correlação entre ambas, e a segunda permitiria verificar se a haveria correlação entre variáveis de desempenho térmico e de percentual de abertura da fachada.

3.3. COLETA DE DADOS DA AMOSTRA FINAL

A amostra utilizada para as análises térmica e espacial é constituída de residências projetadas para a cidade de Natal/RN, ou municípios pertencentes à Região Metropolitana de Natal (RMN). As edificações deveriam possuir área construída dentro de uma faixa de 150,00m² a 300,00m², configurando um padrão de classe média a classe média alta, com o objetivo de proporcionar maior variedade tipológica, além de os projetos serem mais acessíveis. Assim como também, deveriam representar a produção arquitetônica mais contemporânea, tendo sido projetadas do início da década de 2000 até os dias atuais.

Em resumo, todos os projetos utilizados na pesquisa foram selecionados seguindo a mesma lógica, ou seja, devem ter sido projetados para o mesmo tipo de clima, com padrão social e áreas úteis semelhantes, além de serem contemporâneos.

Inicialmente pretendia-se analisar um total de 25 modelos baseados em projetos residenciais, porém, devido ao grande tempo tomado pelas simulações, 20 modelos acabaram sendo confeccionados e simulados.

Sendo assim, tem-se uma amostra final formada por 20 projetos residenciais no total, coletados em diversos escritórios de arquitetura sediados na cidade de Natal/RN, tendo em vista uma maior diversidade de análise.

Deve-se deixar claro que são analisados modelos baseados em projetos arquitetônicos realizados por escritórios de arquitetura para clientes específicos, não necessariamente executados, e não os projetos propriamente ditos.

4. RESULTADOS

Primeiramente apresenta-se um resumo dos resultados obtidos através do estudo piloto, com relação à aplicação das ferramentas detalhadas na metodologia sobre uma determinada amostragem, ainda reduzida, por se tratar de um estudo inicial para testar o método e ajustar a pesquisa, conforme citado anteriormente na metodologia.

Em seguida apresentam-se os resultados alcançados ao final da pesquisa, considerando-se a aplicação da metodologia de um modo mais abrangente, ou seja, com uma amostra mais considerável de projetos residenciais, considerando-se os ajustes tidos como necessários.

4.1. ESTUDO PILOTO

Um estudo, ou projeto piloto (BRAGA & SABOYA, 2012), foi desenvolvido para testar a metodologia e permitir ajustá-la, auxiliando nas definições e ferramentas a serem adotadas ao longo da pesquisa.

Foram selecionadas quatro residências para o estudo piloto, seguindo os pré-requisitos apontados anteriormente na metodologia, porém, no caso do estudo piloto, três dessas foram provenientes de trabalhos finais de graduação (TFG) devido à disponibilidade no momento da realização do mesmo, conforme apresentadas através da Tabela 9.

Tabela 9 – Projetos de residências selecionados para o projeto piloto.

Residência	Autoria	Local	Tipo	Área (m²)	Ano Projeto
Casa Pajuçara (TFG)	Natália F. de Queiroz	Macaíba/RN	Casa de campo	237,63	2009
Casa Akiles (TFG)	Akiles Oliveira	Natal/RN	Casa urbana	270,00	2010
Casa Manoel	Leila Guilhermino Arquitetura	Natal/RN	Casa urbana	151,44	2011
Casa Alice (TFG)	Alice Rück	Macaíba/RN	Casa urbana	167,37	2010

Foram exploradas especialmente medidas como integração, integração visual e conectividade. Sendo assim, os dados almejados pela pesquisa foram então extraídos e analisados conforme apresentado em seguida.

4.1.1. Apresentação e análise dos dados

As imagens (Figura 64 a Figura 67) a seguir apresentam um resumo das análises e seus respectivos dados extraídos (Tabela 10), realizadas no estudo piloto através da análise sintática e energética dos quatro modelos baseados em projetos de residências contemporâneas em Natal/RN, conforme detalhado anteriormente na metodologia.

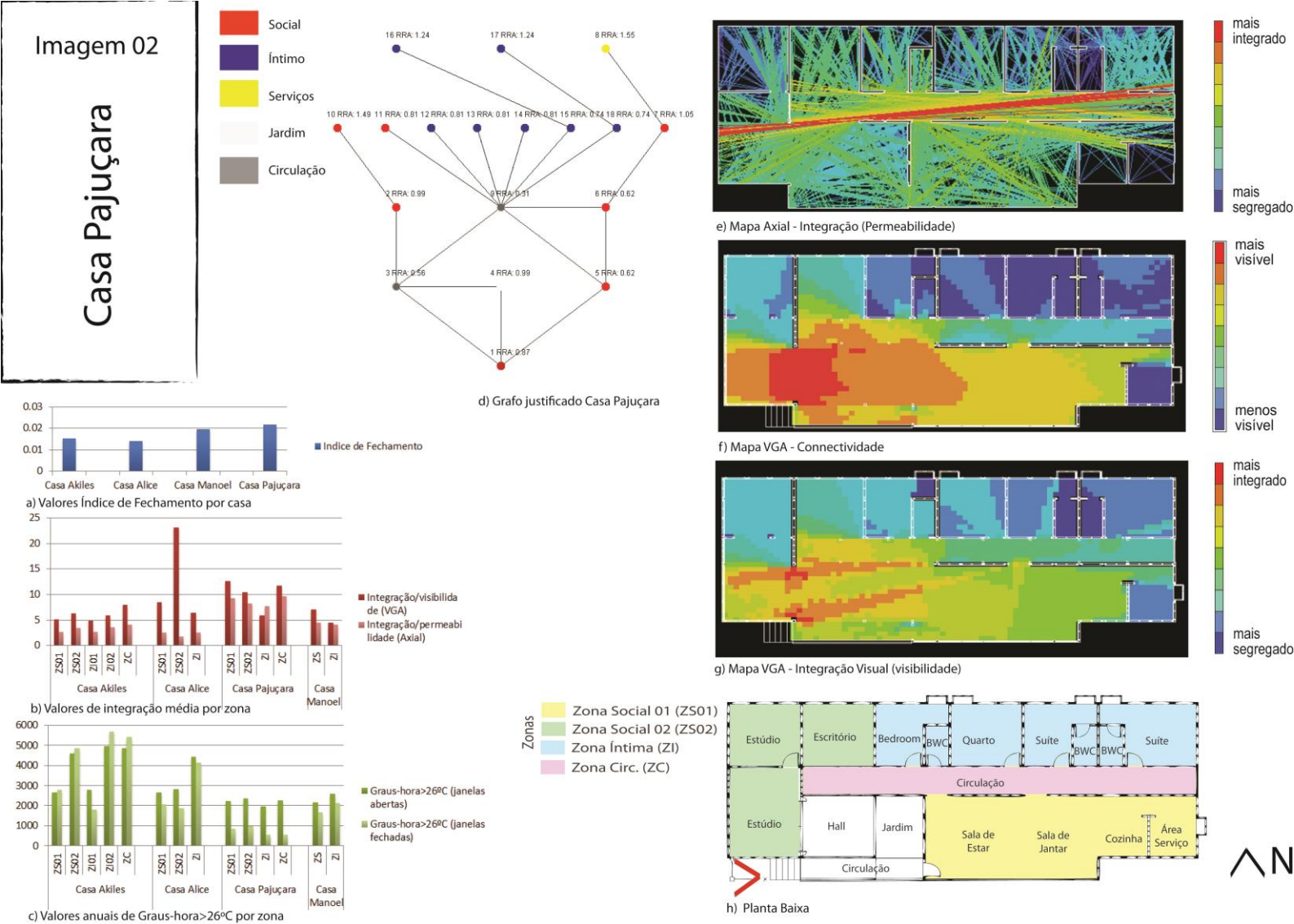


Figura 65 - Análise e dados extraídos em estudo piloto da Casa Pajuçara.

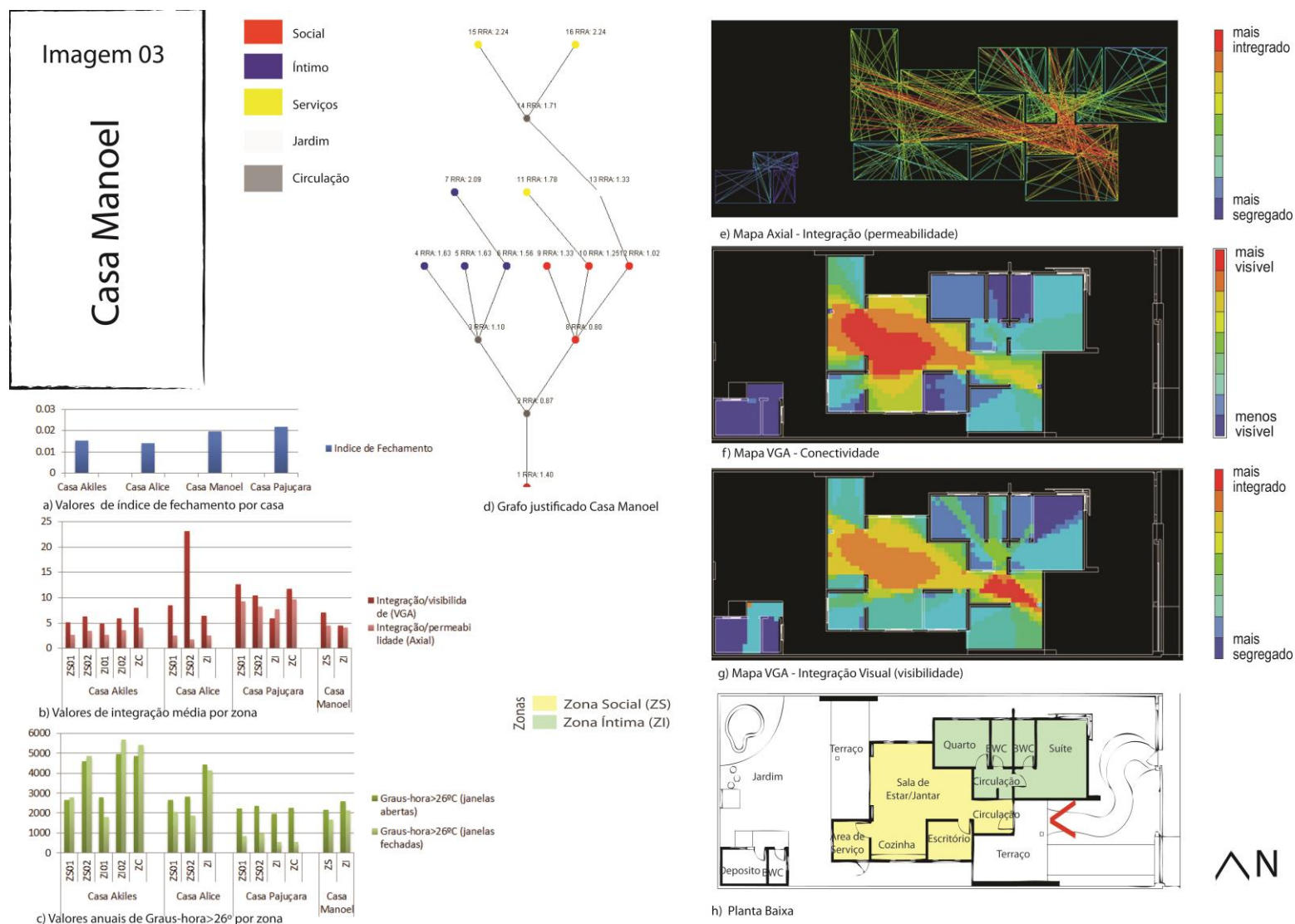
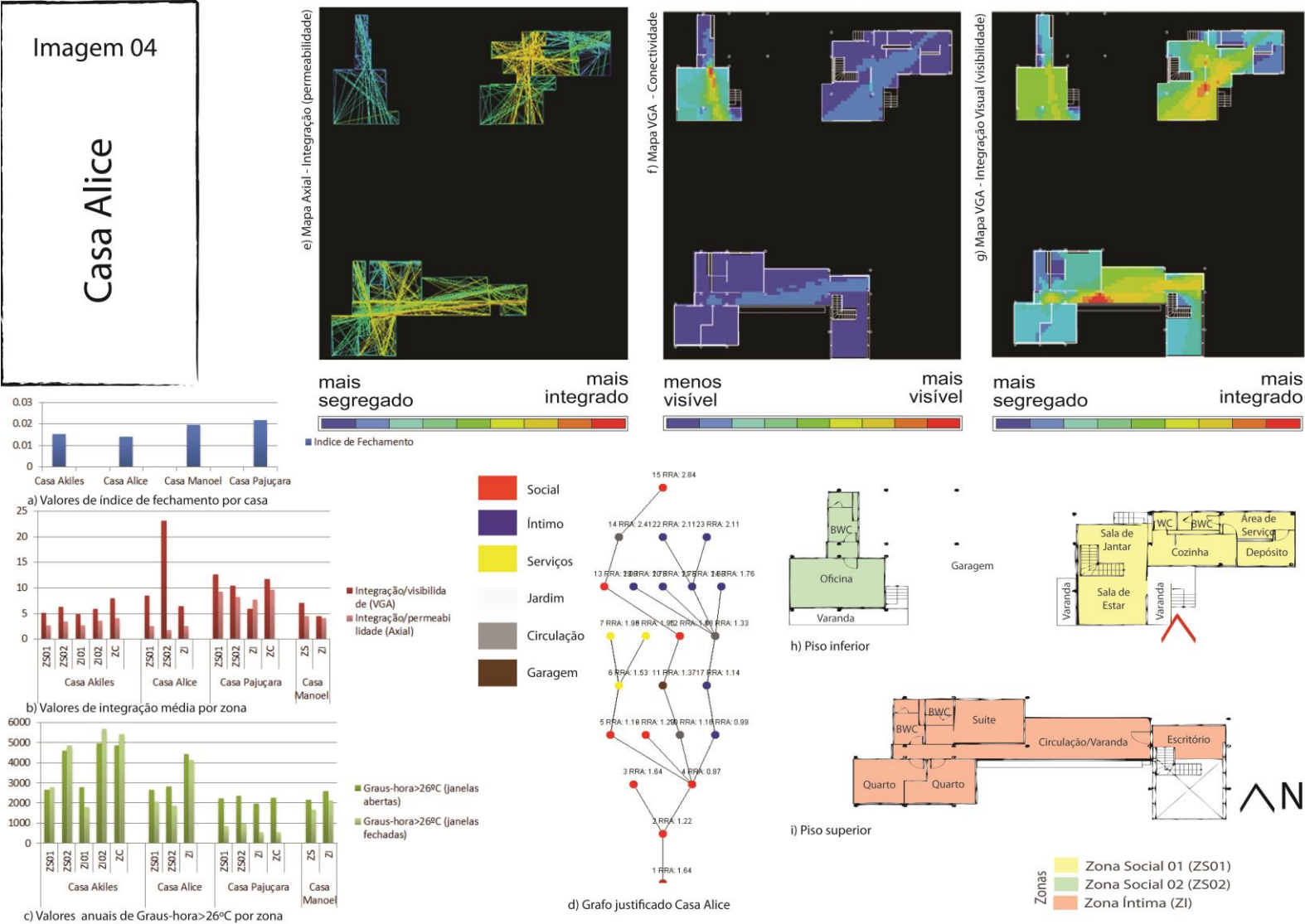


Figura 66 - Análise e dados extraídos em estudo piloto da Casa Manoel.



Pode-se observar através das imagens referidas que em geral as áreas sociais das residências são as mais integradas e conectadas, ou seja, representam o “núcleo integrador”²⁹. No caso da Casa Akiles (Figura 64), a sala de jantar se apresenta, conforme o esperado, entre os ambientes mais bem integrados e conectados. Porém é também interessante notar nesse caso que uma área tida com íntima, a sala de TV, apresenta-se relativamente bem integrada e conectada ao restante dos espaços. Isso se deve principalmente à conformação espacial da residência que se apresenta dividida em dois blocos e conectada por uma passarela superior e outra inferior.

Na Casa Pajuçara (Figura 65) o “núcleo integrador” encontra-se mais próximo à entrada da residência, à circulação de acesso ao estúdio de som e abarcando um pedaço da sala de estar. No caso da análise de permeabilidade (axial), essa aponta a circulação de acesso aos quartos como o espaço mais integrado, fornecendo uma leitura diferenciada com relação ao mapa de integração visual (VGA) que aponta a circulação (hall) de acesso ao estúdio como o mais integrado.

Já no caso da Casa Manoel (Figura 66), os espaços de melhor integração visual são a entrada principal seguida pela sala de estar e jantar. A análise de conectividade aponta a sala de estar e jantar como a mais conectada juntamente ao terraço posterior. A análise de permeabilidade (axial) aponta o “núcleo integrador” como sendo a circulação da entrada principal formando um eixo em direção às salas de estar e jantar.

A Casa Alice (Figura 67) apresenta as salas de estar e de jantar como os espaços visualmente mais bem integrados, porém no pavimento superior uma área teoricamente íntima, como uma circulação/varanda, se apresenta igualmente bem integrada. O espaço melhor conectado é a oficina de trabalho, mais do que todos os outros. Já a análise de permeabilidade (axial) apresenta a sala de estar e de jantar e parte da cozinha como os mais bem integrados, representando o “núcleo integrador” desta residência.

A Casa Pajuçara (Figura 65) apresenta os melhores resultados de desempenho térmico, seguida de perto pela Casa Manoel (Figura 66). A

²⁹ “Núcleo integrador” é o conjunto de espaços mais integrados de uma configuração. (Hillier, 2007).

Casa Pajuçara também apresenta os melhores valores de integração, tanto na análise de permeabilidade como na de visibilidade, em comparação com todas as demais residências, com exceção do pico apresentado pela Zona Social 02 (ZS02) da Casa Alice (Figura 67).

A Casa Akiles (Figura 64) por sua vez apresenta um dos piores resultados no desempenho térmico, com grande número de graus-hora $>26^{\circ}\text{C}$, um dos menores valores de integração e o segundo menor valor para o índice de fechamento. Para essa variável, a Casa Pajuçara (Figura 65) apresenta o valor mais alto.

A Tabela 10 apresenta os valores extraídos das análises sintática e térmica realizadas no estudo piloto. Os valores de desempenho térmico relativos a Graus-hora $>26^{\circ}\text{C}$ são em geral mais baixos no caso em que se mantêm as janelas sempre fechadas, considerando-se que as trocas térmicas internas são menores e nesse caso a massa construída consegue manter uma temperatura interna mais baixa. Considerando a média geral por modelo, pode-se afirmar que a Casa Pajuçara possui os menores valores de Graus-hora $>26^{\circ}\text{C}$ para ambos os casos de ventilação (janelas sempre abertas e janelas sempre fechadas).

Com relação aos valores de Conectividade foram extraídas as médias por zona e em geral as zonas sociais possuem os valores mais altos, revelando-se como as mais conectadas dentro dos sistemas. Considerando a média geral por modelo simulado, a Casa Pajuçara apresenta-se como a mais conectada de todas.

Já com relação aos valores de Integração (permeabilidade), percebe-se que as zonas sociais nem sempre apresentam os maiores valores. Porém, as zonas de circulação, quando presentes, apresentam os valores mais altos para essa medida em questão, revelando-se como as mais integradas, considerando a questão da permeabilidade. Nesse caso, considerando a média geral por modelo simulado pode-se afirmar que a Casa Pajuçara é a mais integrada de todas, para o caso da permeabilidade.

A medida de integração, que considera a visibilidade, também extraída por zona e como média, comporta-se de maneira semelhante à integração (permeabilidade), apresentando zonas de circulação com valores altos, ou seja, bastante integradas, porém com zonas sociais igualmente bem integradas. Pode-se afirmar que a Casa Alice é nesse

caso o modelo mais integrado, considerando-se a questão da visibilidade.

O índice de fechamento foi extraído por modelo, diferentemente das medidas citadas anteriormente, pois se deve considerar o sistema configuracional como um todo. Nesse caso, a Casa Manoel apresenta o valor mais alto, revelando-se como um sistema mais fechado, ou compartimentado, quando comparado com os demais. Já a Casa Alice apresenta o menor índice de fechamento, revelando-se como o sistema menos compartimentado, ou seja, com menos divisões internas.

Tabela 10 – Valores de medidas de sintaxe espacial e desempenho térmico obtidos no estudo piloto por zona ou por casa.

	Zonas	Graus-hora>26 °C (janelas sempre abertas) por zona	Graus-hora>26°C (janelas sempre fechadas) por zona	Conectividade Média (VGA) por zona	Integração/permeabilidade Média (Axial) por zona	Integração/visibilidade Média (VGA) por zona	Índice de fechamento por casa
Casa Akiles	ZS01	2660	2789	423.09	2.63	5.1	0.15
	ZS02	4616	4863	558.6	3.48	6.29	0.15
	ZI01	2787	1795	321.62	2.66	4.8	0.15
	ZI02	4977	5677	355.27	3.55	5.87	0.15
	ZC	4859	5425	652.49	4.13	7.96	0.15
Média		3980	4110	456.82	3.29	6.0	0.15
Casa Alice	ZS01	2643	2071	221.57	2.54	8.4	0.14

	ZS02	2807	1883	226.8	1.8	23	0.14
	ZI	4423	4130	203.13	2.56	6.39	0.14
	Média	3291	2695	217.17	2.3	12.6	0.14
Casa Pajuçara	ZS01	2236	854	1116.23	9.18	12.5 6	0.2
	ZS02	2362	978	795.05	8.23	10.4 6	0.2
	ZI	1980	543	178.33	7.73	5.85	0.2
	ZC	2275	560	773.36	9.64	11.7 3	0.2
	Média	2213	733.75	715.74	8.7	10.1 5	0.2
Casa Manoel	ZS	2156	1672	452.85	4.5	7.03	0.22
	ZI	2587	2116	167.85	4.12	4.42	0.22
	Média	2372	1894	310.35	4.31	5.73	0.22

4.1.2. Discussão dos resultados estudo piloto

Medidas de Sintaxe Espacial X Desempenho Térmico

Pode-se observar que a Casa Pajuçara (Figura 65), aquela com os valores mais altos de integração e conectividade, é também a casa que obteve o menor número de Graus-hora acima dos 26°C. Por outro lado, a Casa Akiles (Figura 64) tem o pior desempenho térmico, porém, possui valores de integração e conectividade similares à Casa Manoel (Figura 66).

Observa-se que as edificações que possuem apenas um piso possuem maiores valores de integração, considerando ambos os tipos de análises (axial e VGA). Entretanto, a diferença entre a Casa Manoel (um

pavimento), a Casa Akiles (dois pavimentos) e a Casa Alice (dois pavimentos), considerando valores de integração, não é tão considerável. Observa-se, porém, que a Casa Alice (Figura 67) possui uma zona bastante integrada (ZS02), com valores que destoam dos demais casos, talvez isso se deva ao fato de que somente essa zona se conecta diretamente com as outras duas (ZS01 e ZI).

A Zona Íntima da Casa Pajuçara (Figura 65) tem o melhor desempenho térmico da residência, mesmo sabendo-se que essa é a zona mais profunda, ou mais segregada, mas deve-se considerar que as aberturas dessa zona e boa parte de suas superfícies expostas encontram-se orientadas para o Norte, ou seja, com baixa incidência de radiação solar. O mesmo acontece para a Casa Manoel (Figura 66), porém, nesse caso, as aberturas estão orientadas para Sudeste. Além disso, a Zona Íntima da Casa Pajuçara (Figura 65), devido à sua orientação em planta, não recebe a radiação direta do sol poente (Oeste) e apenas uma pequena superfície recebe a radiação do sol nascente (Leste), porém, essa não apresenta aberturas.

Na Casa Akiles (Figura 64), a qual possui dois pavimentos, uma das zonas íntimas (piso inferior) apresenta melhor desempenho térmico que a outra (piso superior), mesmo sendo a primeira menos integrada ao resto da residência. Isso se deve, provavelmente, ao fato de que os pavimentos inferiores são menos expostos à radiação solar. Já na Casa Alice (Figura 67), os pavimentos inferiores são mais integrados e possuem melhor desempenho térmico, porém, o pavimento superior é mais compacto do que da Casa Akiles, possuindo menos superfícies expostas, e desse modo, melhor desempenho térmico. Talvez seja possível concluir, respeitando-se as limitações de uma amostra reduzida, que em casas com mais de um pavimento outras medidas, como absorvância térmica, poderiam estar mais relacionadas com o desempenho térmico do que aquelas pertencentes à sintaxe espacial.

Os gráficos de dispersão apresentados na Figura 68 e Figura 70 ilustram melhor a relação encontrada entre as medidas de integração (VGA e Axial) e de desempenho térmico (Graus-hora>26°C). Segundo a Figura 68 é visível que há correlações fracas e moderadas inversas entre as variáveis Integração e Graus-hora>26°C, ou seja, quanto maiores os valores de integração, menor o número de graus-hora acima dos 26°C,

especialmente considerando-se a integração (permeabilidade) com janelas abertas, com correlação de -0.46, e a integração (permeabilidade) com as janelas fechadas, com correlação de -0.57.

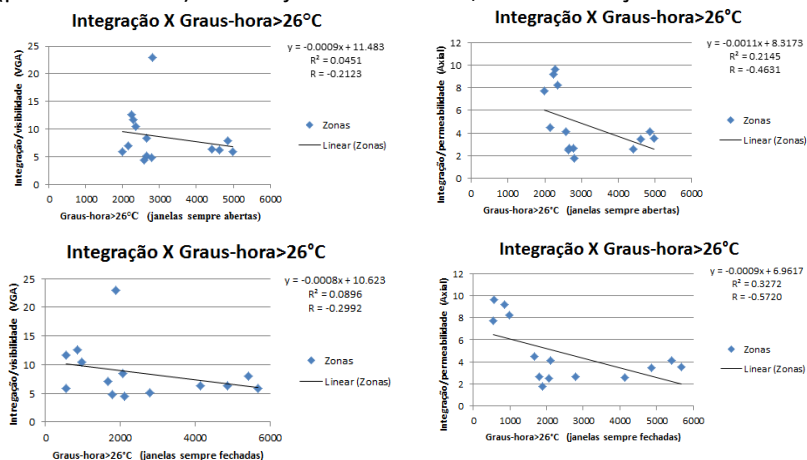


Figura 68 – Gráficos de dispersão e correlação entre medidas de integração e graus-hora. A) Integração (visibilidade) X Graus-hora>26°C (janelas abertas); B) Integração (permeabilidade) X Graus-hora>26°C (janelas abertas); C) Integração (visibilidade) X Graus-hora>26°C (janelas fechadas); D) Integração (permeabilidade) X Graus-hora>26°C (janelas fechadas).

Foram também extraídas medidas de conectividade, as quais não foram apresentadas no estudo piloto inicialmente, mas que agora seguem publicadas conforme Figura 69.

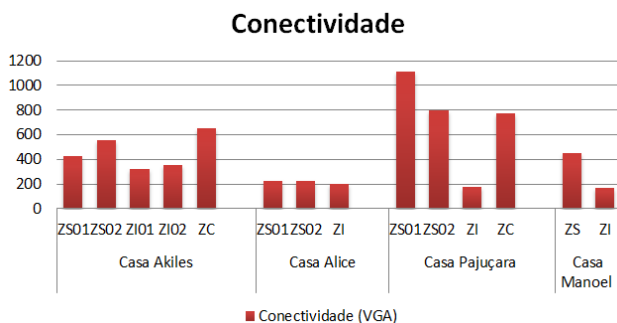


Figura 69 – Valores médios de conectividade por zona.

Segundo a Figura 70 é visível que há valores de correlação fracos e inversamente proporcionais entre as variáveis Conectividade e Graus-

hora>26°C, ou seja, quanto maiores os valores de Conectividade, menor o número de graus-hora acima dos 26°C, especialmente considerando-se a análise térmica realizada com as janelas fechadas, com coeficiente de correlação de -0.17. Nesse caso, pode-se afirmar inclusive que não há correlação.

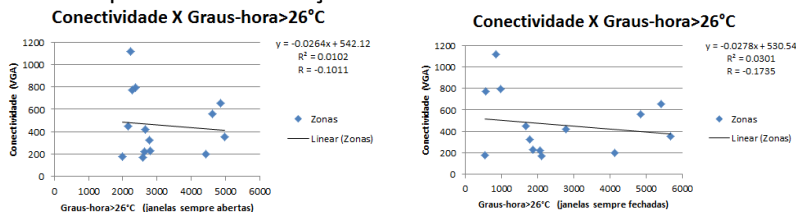


Figura 70 - Gráficos de dispersão e correlação entre medidas de conectividade e graus-hora. A) Conectividade X Graus-hora>26°C (janelas abertas); B) Conectividade X Graus-hora>26°C (janelas fechadas).

Índice de Fechamento X Desempenho Térmico X Profundidade

Enquanto que as simulações térmicas revelam a Casa Pajucara (Figura 65) como a mais confortável, essa também apresenta os maiores valores para o Índice de Fechamento. Por outro lado, a Casa Akiles (Figura 64), o projeto com o maior número de Graus-hora acima dos 26°C, possui os menores valores para o Índice de Fechamento.

Segundo a Figura 71 é visível que há correlações moderada e forte, ambas inversas, entre as variáveis Índice de fechamento e Graus-hora>26°C, ou seja, quanto maiores os valores de índice de fechamento, menor o número de graus-hora acima dos 26°C, especialmente considerando-se a análise térmica realizada com as janelas abertas, com correlação forte de -0.86. Vale salientar que essa é a correlação mais alta encontrada no estudo piloto.

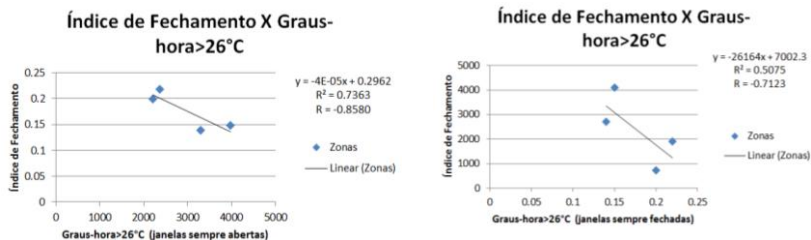


Figura 71 - Gráficos de dispersão e correlação entre medidas de índice de fechamento e graus-hora. A) Índice de fechamento X Graus-hora>26°C (janelas abertas); B) índice fechamento X Graus-hora>26°C (janelas abertas).

Esse padrão identificado entre índice de fechamento e desempenho térmico é interessante porque pode levar à conclusão que o índice de fechamento possui correlação negativa com o desempenho térmico, uma vez que um maior fechamento dos ambientes permitiria um aumento da pressão do ar dentro desses, facilitando o fluxo do ar e dissipação do calor. Tal fato acontece com a Casa Manoel (Figura 66), a qual apresenta um índice de fechamento similar à Casa Pajucara (Figura 65) e razoável desempenho térmico. Sabe-se também que formas arquitetônicas mais compactas, como a Casa Pajuçara, possuem menos superfícies externas e, portanto, proporcionam menos trocas de calor com o exterior. Porém, considerando a profundidade do sistema de ambas as casas com apenas um piso (Casa Manoel e Casa Pajucara) percebe-se que quanto mais profundo o sistema configuracional, maior é o número de Graus-hora acima dos 26°C. Talvez, uma diretriz para projetos, os quais almejem melhor desempenho térmico, seria adotar sistemas configuracionais menos profundos, ou mais rasos, porém, com maiores valores de índice de fechamento, mais compactos, somados a maiores valores de integração relacionada à permeabilidade.

Simulação janelas abertas X janelas fechadas

É importante observar que o desempenho térmico de quase todas as casas - Casa Manoel (Figura 66), Casa Pajuçara (Figura 65) e Casa Alice (Figura 67) - melhorou um pouco quando as janelas externas foram consideradas fechadas durante todo o tempo de simulação. Tal fato provavelmente deve-se à inexistência de cargas internas para serem resfriadas nas simulações, pois, há menos trocas de ar entre interior e exterior. Porém, ambas as análises (com janelas abertas e fechadas) seguem o mesmo padrão de desempenho térmico, considerando a

distribuição por zona, exceto a Casa Akiles (Figura 64) que apresenta o número de graus-hora mais alto para a análise com janelas abertas, possuindo o projeto menos compacto e com maior número de superfícies expostas à radiação solar, inclusive para a orientação Oeste, quando comparada com os demais modelos simulados.

Leitura grafos justificados

Através dos grafos justificados foi possível observar que a Casa Pajuçara (Figura 65) é a que possui o sistema configuracional mais raso, sendo distribuído em cinco níveis de profundidade. É interessante notar que a Casa Akiles (Figura 64), dois pavimentos, e a Casa Manoel (Figura 66), um pavimento, possuem sistemas de mesma profundidade, seis níveis cada um. Deve-se perceber que quanto mais profundo um sistema configuracional, seus valores de integração (RRA) tendem a ser mais baixos. A Casa Alice (Figura 67) por sua vez possui o sistema configuracional mais profundo com nove níveis de profundidade.

Pode-se assumir que a amostra analisada no estudo piloto era pequena para tirar maiores conclusões sobre as mútuas influências entre distribuição espacial e desempenho térmico em edificações, uma vez que apenas quatro casos foram analisados. Entretanto, deu-se continuidade à pesquisa com a expansão da análise para outros casos, ou projetos, intencionando-se tornar a pesquisa mais detalhada e confiável, conforme apresentado no tópico seguinte.

4.2. RESULTADOS DA AMOSTRA COMPLETA

Após a realização de ajustes sugeridos pela banca julgadora no exame de Qualificação e conversados entre pesquisadores, orientadores e orientanda, seguiram-se novas simulações seguindo-se novos, e antigos, padrões de análise, estabelecidos e detalhados anteriormente na metodologia.

Desse modo, decidiu-se por dividir a amostra de 20 projetos coletados em dois grupos de edificações residenciais: residências com 01 pavimento (06 modelos) e residências com 02 pavimentos (14 modelos). Decidiu-se por tal classificação tendo em vista uma homogeneização dos modelos a serem comparados entre si. As residências foram numeradas para facilitar o trabalho.

Ao final da presente pesquisa há um apêndice com o resumo de todas as análises realizadas e as respectivas características arquitetônicas dos modelos analisados pertencentes à amostra final.

4.2.1. Residências com um pavimento (Grupo 01)

Essas são seis no total e caracterizam-se pela nomenclatura Casa 01, Casa 05, Casa 06, Casa 08, Casa 10 e Casa 15. Dividem-se em zonas conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Modelos e características de seus respectivos projetos arquitetônicos base.

Modelo	Autoria	Local	Tipo	Área (m²)	Ano Projeto
Casa 01-1	Leila Guilhermino Arquitetura	Natal/RN	Casa urbana	151,44	2011
Casa 05-1	NB Arq & Urb	Natal/RN	Casa urbana	175,79	2011
Casa 06-1	Istmo Arquitetura e Urbanismo	Ceará-Mirim/RN	Casa urbana	174,10	2008
Casa 08-1	Maranhão Arquitetura	Natal/RN	Casa urbana	167,37	2007
Casa 10-1	Prime Arquitetura	Tibau do Sul/RN	Casa de praia	218,97	2012
Casa 15-1	André Luiz de Souza	Natal/RN	Casa urbana	134,70	2004

4.2.1.1. Apresentação e análise dos dados

As imagens (Figura 72 a Figura 77) a seguir apresentam um resumo das análises e seus respectivos dados extraídos (Tabela 12), realizadas com o grupo das residências de um pavimento (Grupo 01) através da análise sintática e energética dos seis modelos baseados em projetos de residências contemporâneas em Natal/RN, conforme detalhado anteriormente na metodologia.

A Figura 72 apresenta os modos como se distribuem as plantas baixas dos modelos constituintes do Grupo 01, ou seja, modelos com apenas

um pavimento. Conforme mencionado na metodologia, cada modelo foi zoneado de acordo com o tipo de atividade desenvolvida: social, íntima ou apenas de circulação.

Pode-se observar através da Figura 73 que na maior parte das residências os espaços próximos à entrada principal, ou próximos a terraços e varandas são aqueles visualmente mais integrados com o restante da residência. Em todos os modelos pertencentes ao Grupo 01, tal aspecto é bem visível. Como seria de se esperar, os espaços mais segregados são geralmente aqueles íntimos, como quartos e banheiros, ou destinados a serviços, como área de serviço.

O mesmo comportamento mencionado acontece na análise de permeabilidade (Figura 74), porém, observa-se que as áreas de circulação, como corredores, tornam-se ainda mais integradas.

No caso dos modelos 01-1, 10-1 e 15-1, essas áreas citadas como visualmente mais integradas englobam também as zonas com menores valores de graus-hora $>26^{\circ}\text{C}$, conforme observado através da Figura 73. Considerando a análise de permeabilidade, o mesmo comportamento térmico e espacial é observado nos mesmos modelos citados.



Figura 72 - Plantas baixas das residências com suas respectivas zonas e orientações (Grupo 01).

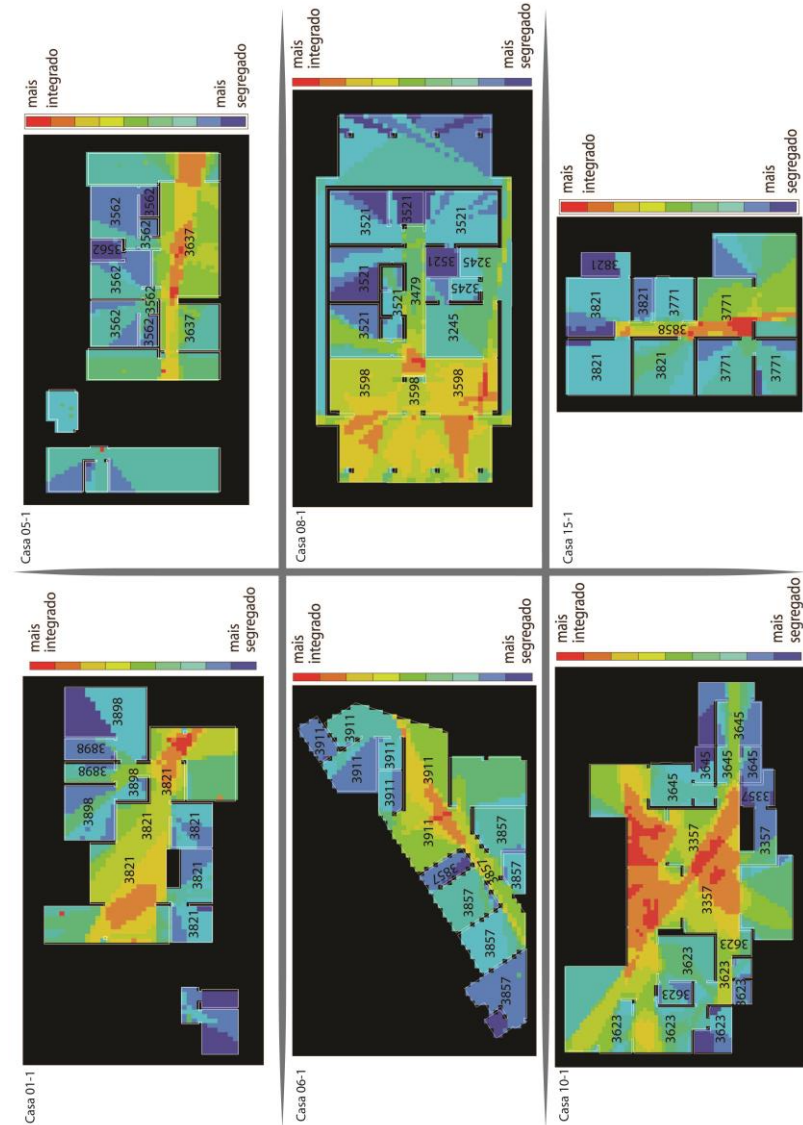


Figura 74 - Mapas VGA de integração por modelo considerando a análise de permeabilidade com seus respectivos valores de graus-hora>26°C por zona, para a situação na qual as janelas permanecem sempre abertas.

A análise do tipo convexa, conforme mencionado anteriormente no capítulo 2.4 do referencial teórico, permite a leitura da integração espacial a partir de polígonos, os quais representam cada espaço convexo de um sistema espacial. Essa foi também utilizada na análise da amostra em questão e aponta para um comportamento bastante similar à análise de integração (VGA), considerando a permeabilidade. Assim, como na análise VGA, os mapas convexos apresentam os espaços de entrada principal, circulações e espaços próximos a terraços e varandas como os mais integrados dentro de cada sistema espacial (Figura 75).

A análise da conectividade (Figura 76) é similar à análise de integração, considerando a visibilidade, porém, percebe-se que as circulações perdem um pouco do caráter integrador que apresentavam nas análises anteriores. Espaços como sala de estar e sala de jantar tornam-se ainda mais integrados dentro dos sistemas espaciais.

A análise configuracional a partir dos grafos justificados (Figura 77) permite observar a profundidade dos sistemas espaciais como um todo, além da profundidade de espaços específicos, classificados de acordo com o tipo de atividade desenvolvida no mesmo: social, íntimo, serviços, jardim e circulação. Vale salientar que a raiz do grafo é representada pela porta da entrada principal, a qual se situa no primeiro nível de profundidade do sistema. Desse modo, observa-se que a Casa 15-1 é o modelo com o sistema configuracional mais raso, com apenas 5 níveis de profundidade, já os modelos Casa 06-1 e 10-1 são aqueles mais profundos, com 7 níveis de profundidade. No geral, os espaços sociais apresentam-se em níveis mais rasos, enquanto os espaços íntimos e de serviço são mais profundos, com algumas exceções, como na Casa 05-1, a qual apresenta três espaços sociais em níveis mais profundos.

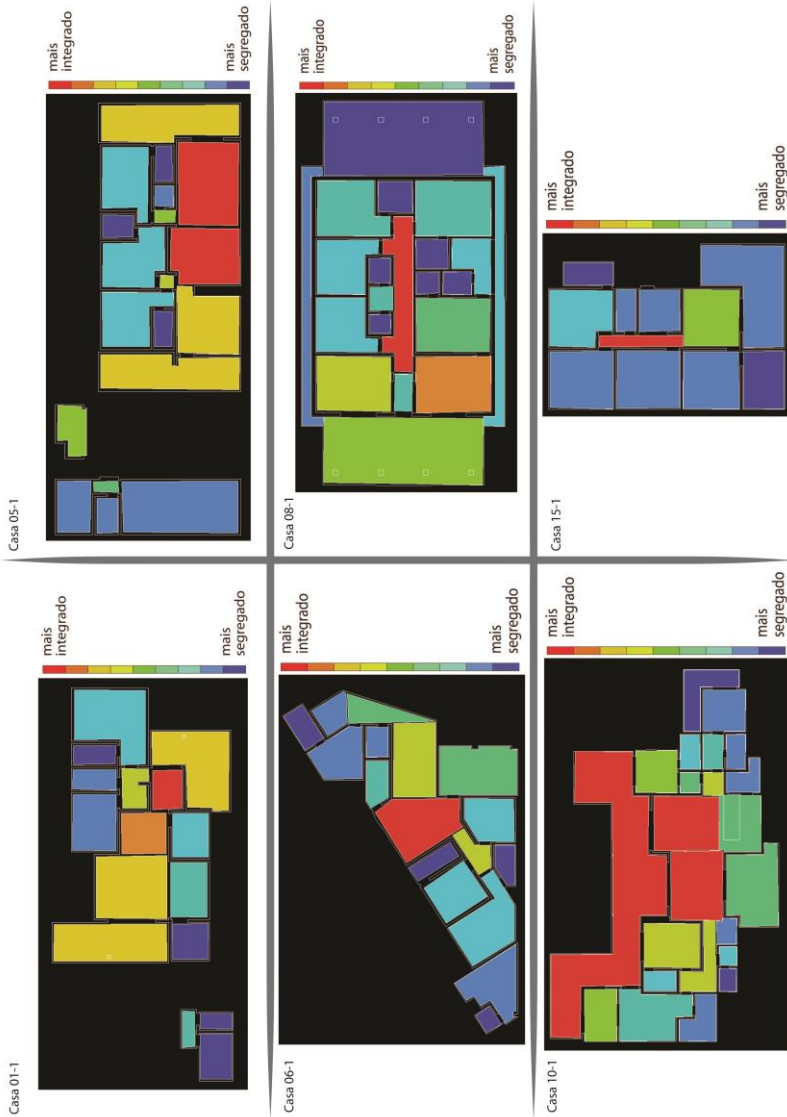


Figura 75 - Mapas convexas de integração para cada residência considerando a análise de permeabilidade.

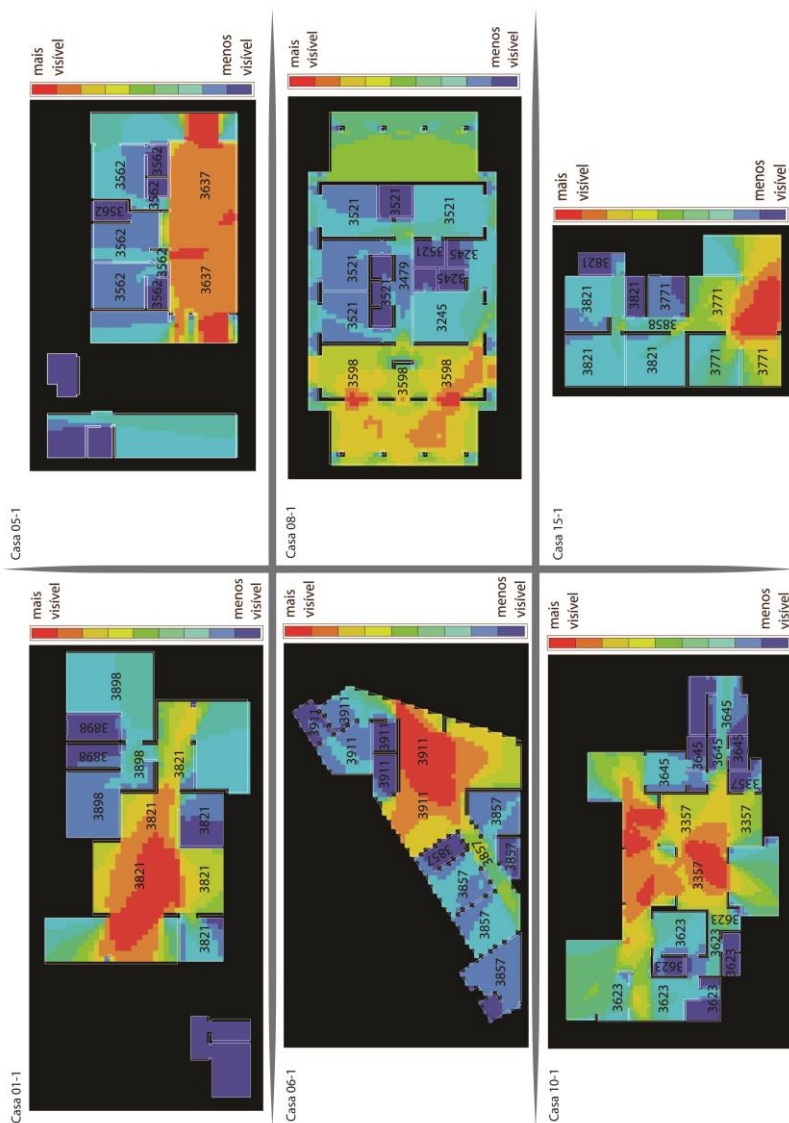


Figura 76 - Mapas VGA de conectividade por modelo considerando a análise de visibilidade com seus respectivos valores de graus-hora $>26^{\circ}\text{C}$ por zona, para a situação na qual as janelas permanecem sempre abertas.

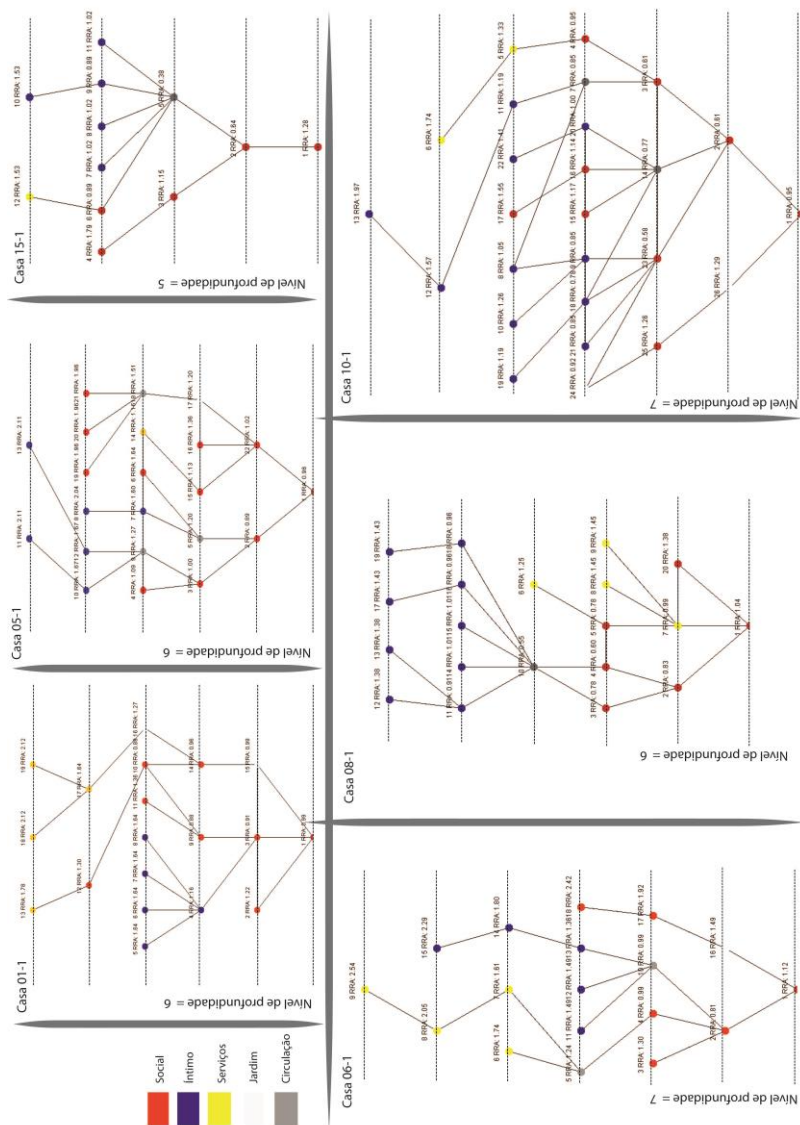


Figura 77 - Grafos justificados para cada sistema configuracional residencial. A raiz do sistema (porta de entrada principal) situa-se no primeiro nível de profundidade.

A Tabela 12 apresenta os valores extraídos das análises sintática e térmica realizadas com os modelos do Grupo 01. Os valores de desempenho térmico relativos a Graus-hora $>26^{\circ}\text{C}$ são sempre mais baixos no caso em que se mantêm as janelas sempre fechadas, considerando-se que as trocas térmicas internas são menores e nesse caso a massa construída consegue manter uma temperatura interna mais baixa, uma vez que também são desconsideradas cargas térmicas internas. Considerando a média geral por modelo, pode-se afirmar que o modelo 08-1 possui os menores valores de Graus-hora $>26^{\circ}\text{C}$ para ambos os casos de ventilação (janelas sempre abertas e janelas sempre fechadas).

Com relação aos valores de Conectividade foram extraídas as médias por zona e em geral as zonas sociais possuem os valores mais altos, revelando-se como as mais conectadas dentro dos sistemas. Considerando a média geral por modelo simulado, o modelo 10-1 apresenta-se como o mais conectado de todos.

Já com relação aos valores de Integração (permeabilidade) as zonas sociais, juntamente com as zonas de circulação, quase sempre apresentam os maiores valores. Desse modo, essas apresentam os valores mais altos para a medida em questão, revelando-se como as mais integradas, considerando a questão da permeabilidade. Nesse caso, considerando a média geral por modelo simulado pode-se afirmar que o modelo 10-1 é o mais integrado de todos, para o caso da permeabilidade.

A medida de integração, que considera a visibilidade, também extraída por zona e como média, comporta-se de maneira semelhante à integração (permeabilidade), apresentando zonas de circulação com valores altos, ou seja, bastante integradas, porém com zonas sociais igualmente bem integradas. Pode-se afirmar que o modelo 10-1 é nesse caso o mais integrado, considerando-se a questão da visibilidade. O índice de fechamento foi extraído por modelo, diferentemente das medidas citadas anteriormente, pois se deve considerar o sistema configuracional como um todo. Nesse caso, os modelos 06-1 e 15-1 apresentam os valores mais altos, revelando-se como sistemas mais fechados, ou compartimentados, quando comparados com os demais. Já o modelo 01-1 apresenta o menor índice de fechamento, revelando-

se como o sistema menos compartimentado, ou seja, com menos divisões internas.

O índice de funcionalidade, assim como o índice de fechamento, foi extraído por modelo, pois se deve considerar o sistema configuracional como um todo. Nesse caso, o modelo 15-1 apresenta o valor mais alto, revelando-se como um sistema com menos áreas de circulação quando comparado com os demais. Já o modelo 01-1 apresenta o menor índice de funcionalidade, revelando-se com mais áreas de circulação, como corredores e circulações.

Foram extraídas também do grupo em questão medidas de taxas de trocas de ar (ach), nesse caso foram calculadas as médias anuais de trocas de ar por zona. Observando-se os dados da Tabela 12, percebe-se que em quatro dos modelos simulados (01-1, 08-1, 10-1 e 15-1) as zonas íntimas apresentam médias de taxas de trocas de ar mais altas que as zonas sociais, refletindo a busca em geral dos arquitetos em posicionar as áreas íntimas (quartos) para os ventos predominantes sudeste. Já se considerando as médias dos valores entre zonas, percebe-se que o modelo 06-1 apresenta os valores mais altos de infiltração de ar. Isso se deve provavelmente à orientação sudeste da maior parte das aberturas de ambas as zonas (social e íntima), bastante influenciada pelo formato do terreno ocupado.

Tabela 12 - Valores de medidas de sintaxe espacial e desempenho térmico obtidos na pesquisa por zona ou por modelo (Grupo 01).

Dados da pesquisa por zona ou por modelo (Grupo 01):									
Zonas	Graus- hora>26° C (janelas sempre abertas) por zona	Graus- hora>18° C (janelas sempre fechadas) por zona	Conec- tividade de Média (VGA) por zona	Integr ação/ perme abilidade de Média (VGA) por zona	Integr ação/ visibili- dade de Média (VGA) por zona	Média de Taxas de Trocas de ar (ach) por zona	Índi- ce de fech- ame- nto por mod- elo	Índi- ce de func- iona- lida- de por mod- elo	
Um Pavimento									
Casa 01	ZI	3898	3466	167.6	4.36	4.5	27.16	0.2	0.53
	ZS	3821	3379	447.07	6.3	7.0	18.43	0.2	0.53
Média		3860	3423	307.34	5.33	5.75	22.8	0.2	0.53
Casa 05	ZS	3637	1727	810.4	7.27	8.78	20.03	0.2	0.66
	ZI	3562	1684	177.4	4.28	4.8	12.02	0.2	0.66
Média		3600	1706	493.9	5.78	6.79	16.03	0.2	0.66
Casa 06	ZS	3911	3424	361.24	5.47	7.16	27.83	0.35	0.80
	ZI	3857	3494	153.97	4.43	4.83	18.5	0.35	0.80
Média		3884	3459	257.6	4.95	6.0	23.17	0.35	0.80
Casa 08	ZS	3598	1577	599.4	6.3	7.1	15.6	0.25	0.63
	ZS	3245	1403	197.84	4.22	5.34	0.65	0.25	0.63
	ZC	3479	1119	250.57	5.52	6.05	0.0	0.25	0.63
	ZI	3521	1435	171.3	3.67	5.04	18.81	0.25	0.63
Média		3460	1384	304.77	4.93	5.88	8.77	0.25	0.63
Casa 10	ZI	3623	2051	435.4	7.08	7.27	13.52	0.23	1.15
	ZI	3645	1917	343	6.19	6.84	15.02	0.23	1.15

02									
ZS	3357	1871	1111.3	9.47	10.5	5.53	0.23	1.15	4
Média	3542	1946	629.9	7.58	8.22	11.36	0.23	1.15	

Casa 15	ZI	3821	1961	153.48	4.84	5.03	18.59	0.35	1.2
	ZS	3771	1957	303.58	5.94	6.84	10.14	0.35	1.2
	ZC	3858	1654	255.45	8.2	9.0	0.0	0.35	1.2
Média		3817	1857	237.5	6.33	6.96	9.58	0.35	1.2

4.2.2. Residências com dois pavimentos (Grupo 02)

Essas são 14 no total e caracterizam-se pela nomenclatura Casa 02, Casa 03, Casa 04, Casa 07, Casa 09, Casa 11, Casa 12, Casa 13, Casa 14, Casa 16, Casa 17, Casa 18, Casa 19 e Casa 20. Dividem-se em zonas conforme apresentado na Tabela 13.

/

Tabela 13 - Modelos e características de seus respectivos projetos arquitetônicos base.

Modelo	Autoria	Local	Tipo	Área (m²)	Ano Projeto
Casa 02-2	Espaço Uno de Arquitetura	Parnamirim/RN	Casa urbana	152,91	2007
Casa 03-2	Tekton Arquitetura	Parnamirim/RN	Casa urbana	189,45	2009
Casa 04-2	Espaço Quatre Arquitetura	Natal/RN	Casa urbana	212,58	2010
Casa 07-2	César Henrique	Parnamirim/RN	Casa urbana	167,37	2008
Casa 09-2	HCP Arquitetura	Parnamirim/RN	Casa urbana	268,60	2012
Casa 11-2	Maranhão Arquitetura	Natal/RN	Casa urbana	302,79	2004
Casa 12-2	A2 Arquitetura	Parnamirim/RN	Casa urbana	179,88	2004

Casa 13-2	Crest Homes Architecture	Natal/RN	Casa urbana	203,87	2010
Casa 14-2	Tekton Arquitetura	Parnamirim/RN	Casa urbana	228,52	2012
Casa 16-2	Renato Medeiros Arquitetura	Parnamirim/RN	Casa urbana	250,27	2009
Casa 17-2	Crest Homes Architecture	Parnamirim/RN	Casa urbana	295,45	2011
Casa 18-2	Espaço Quatre Arquitetura	Macaíba/RN	Casa urbana	172,17	2012
Casa 19-2	Cypriana Pinheiro Arquitetura	Parnamirim/RN	Casa urbana	288,30	2013
Casa 20-2	Cypriana Pinheiro Arquitetura	Parnamirim/RN	Casa urbana	303,91	2012

4.2.2.1. Apresentação e análise dos dados

As imagens (Figura 78 a Figura 95) a seguir apresentam um resumo das análises e seus respectivos dados extraídos (Tabela 14), realizadas com o grupo das residências de dois pavimentos (Grupo 02) através da análise sintática e energética dos quatorze modelos baseados em projetos de residências contemporâneas em Natal/RN, conforme detalhado anteriormente na metodologia.

Deve-se salientar que para este tipo de residência (dois pavimentos), as análises de visibilidade e de permeabilidade também seguem as mesmas estratégias utilizadas para os modelos com um pavimento. Porém, uma vez que estas residências possuem mais de um pavimento, as conexões (escadas) entre eles são igualmente consideradas.

A Figura 78, Figura 79 e Figura 80 apresentam os modos como se distribuem as plantas baixas dos modelos constituintes do Grupo 02, ou seja, modelos com dois pavimentos. Conforme mencionado na

metodologia, cada modelo foi zoneado de acordo com o tipo de atividade desenvolvida: social, íntima ou apenas de circulação.

Pode-se observar através da Figura 81, Figura 82 e Figura 83 que na maior parte das residências os espaços pertencentes à sala de estar, jantar ou circulações são aqueles visualmente mais integrados com o restante da residência. Em quase todos os modelos pertencentes ao Grupo 02, tal aspecto é bem visível. Como seria de se esperar, os espaços mais segregados são geralmente aqueles íntimos, como quartos e banheiros, ou destinados a serviços, como área de serviço. As cozinhas, apesar de se apresentarem cada vez mais abertas ao restante da edificação, ainda são visualmente pouco integradas. Pode-se atentar também para o fato de que, diferentemente dos modelos de apenas um pavimento, os níveis de integração visual, em geral, são mais baixos nos modelos desse segundo grupo, com exceção da Casa 03-2 (Figura 81) e da Casa 14-2 (Figura 82), as quais apresentam valores mais altos de integração.

Na análise de permeabilidade, (Figura 84, Figura 85 e Figura 86) as salas de estar e jantar, e circulações apresentam-se em geral como os espaços mais integrados. Em alguns casos, porém, as cozinhas apresentam-se mais integradas dentro do sistema conforme observado nos modelos 09-2 (Figura 84), 11-2 (Figura 85), 14-2 (Figura 85), 19-2 (Figura 86) e 20-2 (Figura 86).



Figura 78 - Plantas baixas das residências com suas respectivas zonas e orientações (Grupo 02).



Figura 79 - Plantas baixas das residências com suas respectivas zonas e orientações (Grupo 02).



Figura 80 - Plantas baixas das residências com suas respectivas zonas e orientações (Grupo 02).

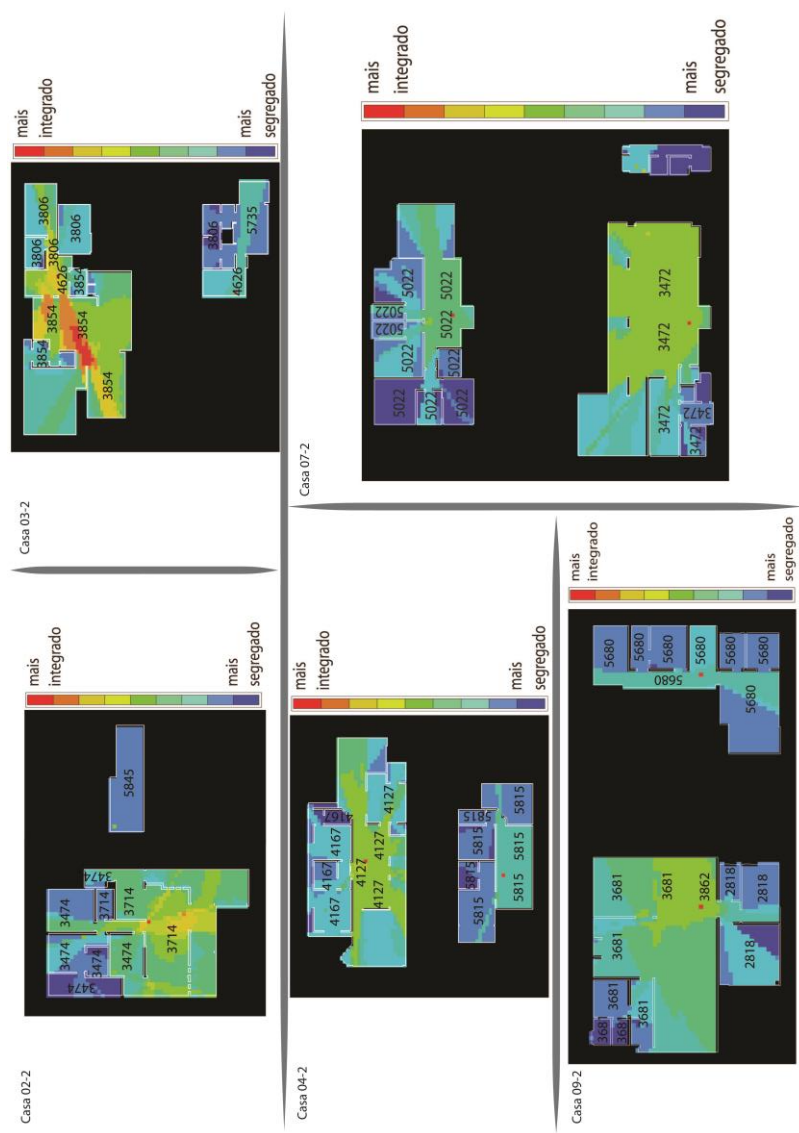


Figura 81 - Mapas VGA de integração por modelo considerando a análise de visibilidade com seus respectivos valores de graus-hora>26°C por zona, para a situação na qual as janelas permanecem sempre abertas.

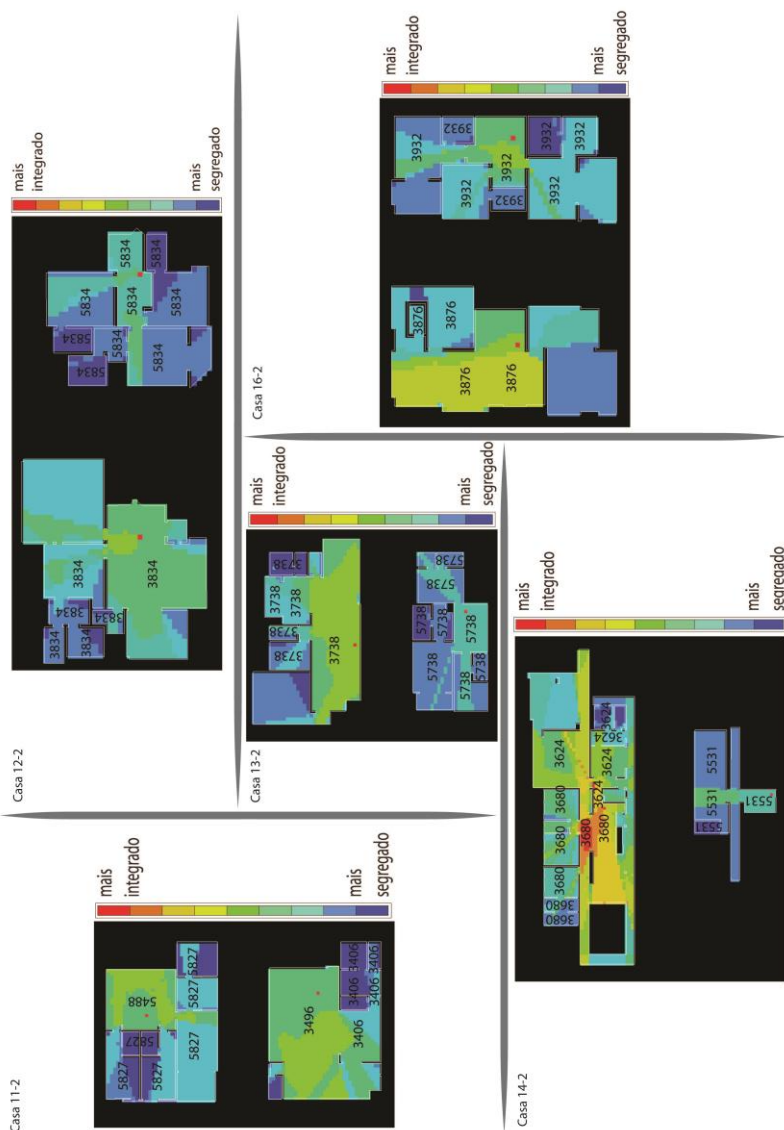
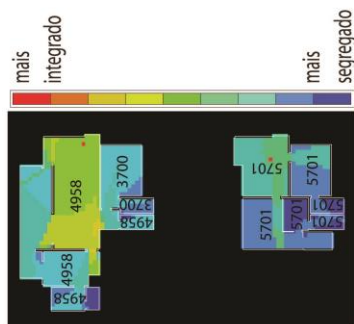
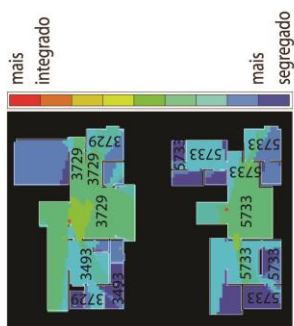


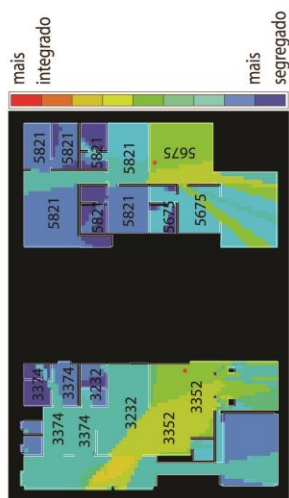
Figura 82 - Mapas VGA de integração por modelo considerando a análise de visibilidade com seus respectivos valores de grau-hora > 26°C por zona, para a situação na qual as janelas permanecem sempre abertas.



Casa 17-2



Casa 20-2



Casa 19-2

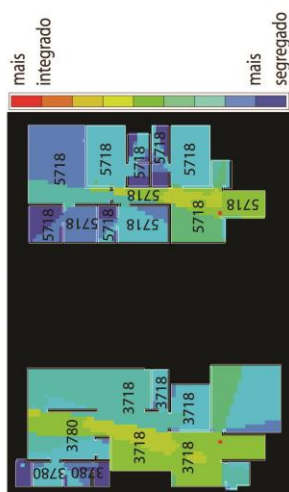


Figura 83 - Mapas VGA de integração por modelo considerando a análise de visibilidade com seus respectivos valores de graus-hora>26°C por zona, para a situação na qual as janelas permanecem sempre abertas.

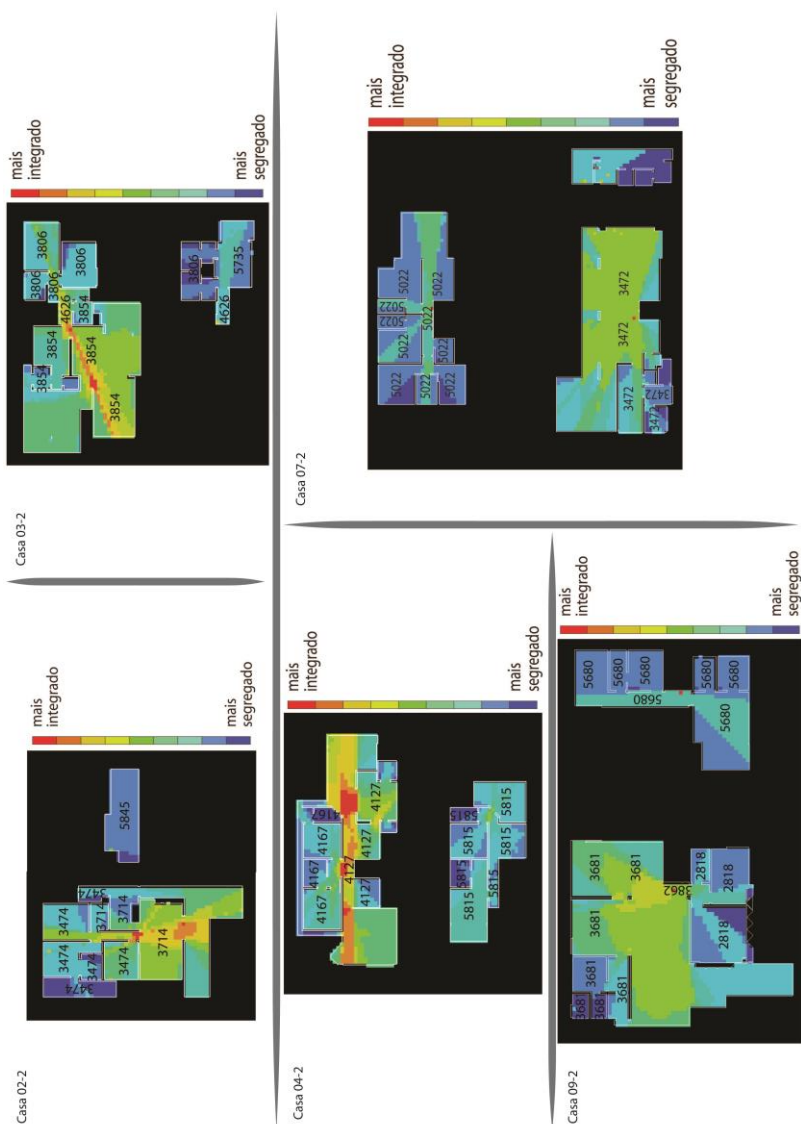


Figura 84 - Mapas VGA de integração por modelo considerando a análise de permeabilidade com seus respectivos valores de graus-hora >26°C por zona, para a situação na qual as janelas permanecem sempre abertas.

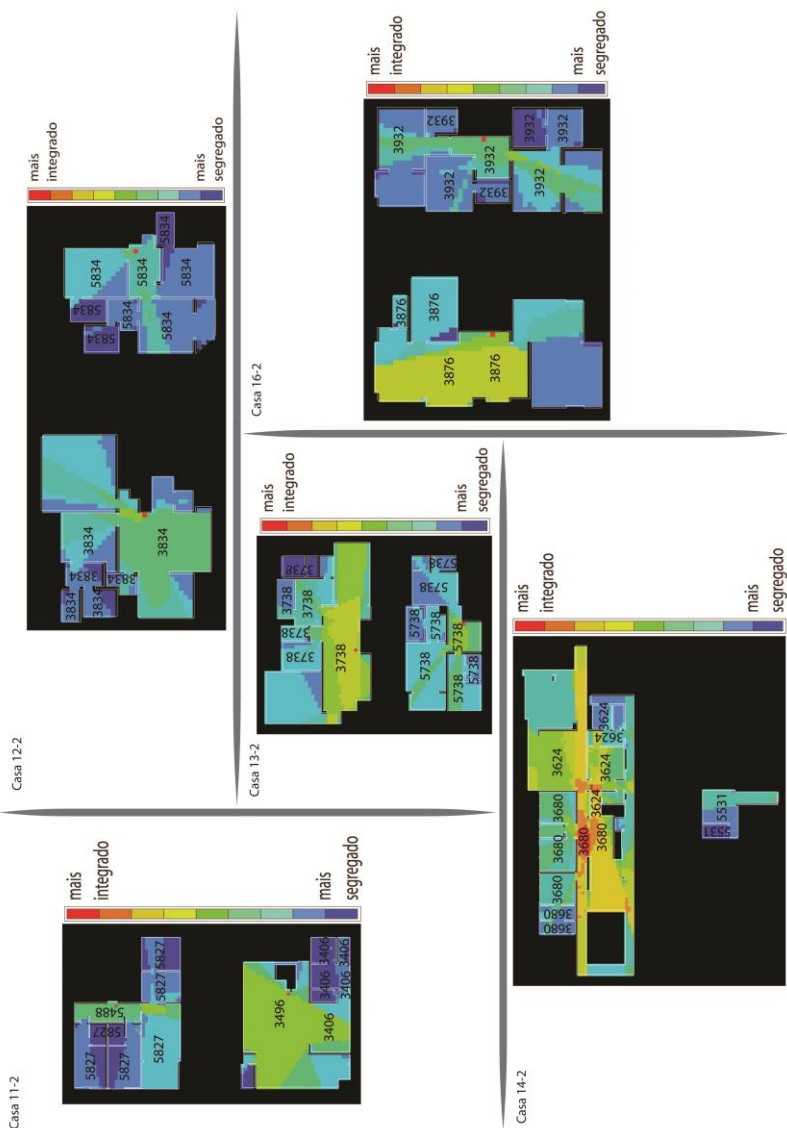


Figura 85 - Mapas VGA de integração por modelo considerando a análise de permeabilidade com seus respectivos valores de graus-hora>26°C por zona, para a situação na qual as janelas permanecem sempre abertas.

A análise do tipo convexa, conforme mencionado anteriormente no capítulo 2.4 do referencial teórico, permite a leitura da integração espacial a partir de polígonos, os quais representam cada espaço convexo de um sistema espacial. A mesma foi utilizada na análise da amostra em questão e aponta para um comportamento bastante similar à análise de integração (VGA), considerando a permeabilidade. Assim, como na análise VGA, os mapas convexos apresentam os espaços como salas de estar e jantar, e circulações como os mais integrados dentro de cada sistema espacial (Figura 87, Figura 88 e Figura 89).

A análise da conectividade (Figura 90, Figura 91 e Figura 92) é similar à análise de integração, considerando a visibilidade, ou seja, salas e circulações apresentam-se como espaços bastante conectados. É interessante perceber também que os pavimentos térreos, em praticamente todos os casos, apresentam valores de conectividade bem mais altos do que os pavimentos superiores.

Como já se sabe, a análise configuracional a partir dos grafos justificados (Figura 93, Figura 94 e Figura 95) permite observar a profundidade dos sistemas espaciais como um todo, além da profundidade de espaços específicos, classificados de acordo com o tipo de atividade desenvolvida no mesmo: social, íntimo, serviços, jardim e circulação. Desse modo, observa-se que a Casa 09-2, Casa 11-2 e Casa 13-2 são os modelos com os sistemas configuracionais mais rasos, com 6 níveis de profundidade cada, já os modelos Casa 03-2, Casa 07-2 e Casa 12-2 são aqueles mais profundos, com 8 níveis de profundidade cada. No geral, os espaços sociais apresentam-se em níveis mais rasos, enquanto os espaços íntimos e de serviço são mais profundos, com algumas exceções, como na Casa 07-2, Casa 14-2 e Casa 19-2, as quais apresentam espaços sociais nos níveis mais profundos.

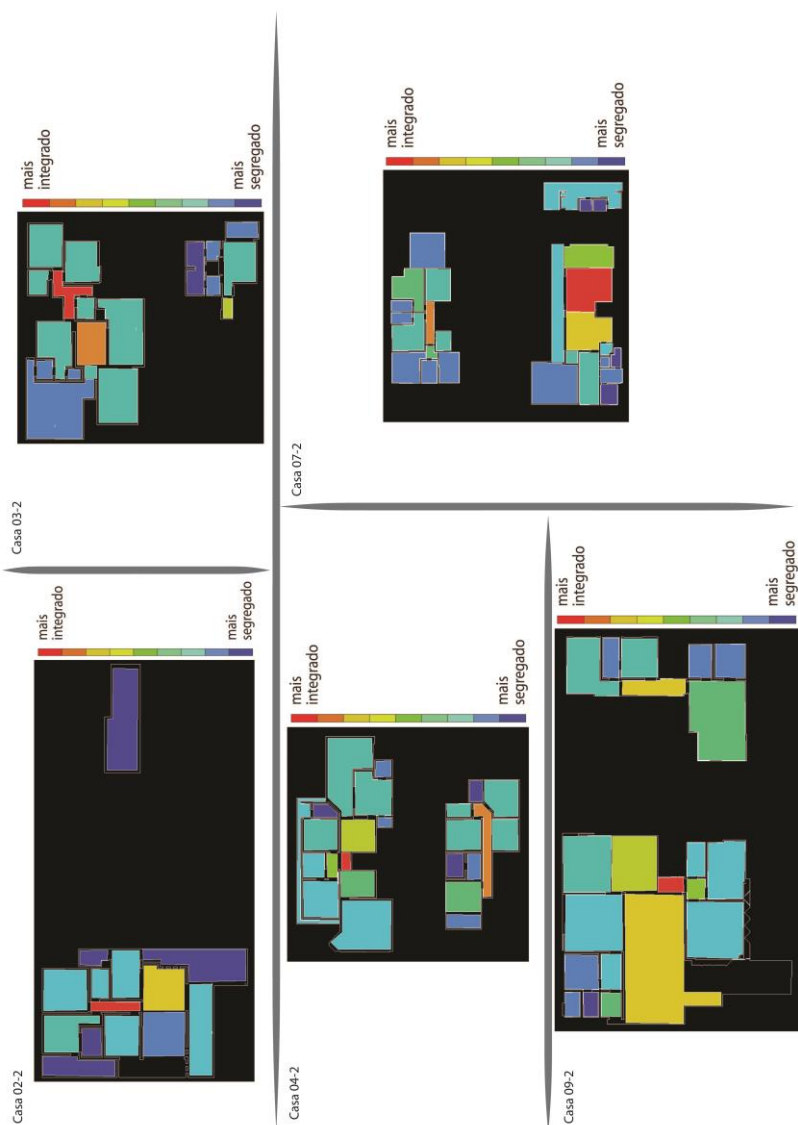


Figura 87 - Mapas convexos de integração por modelo considerando a análise de permeabilidade.

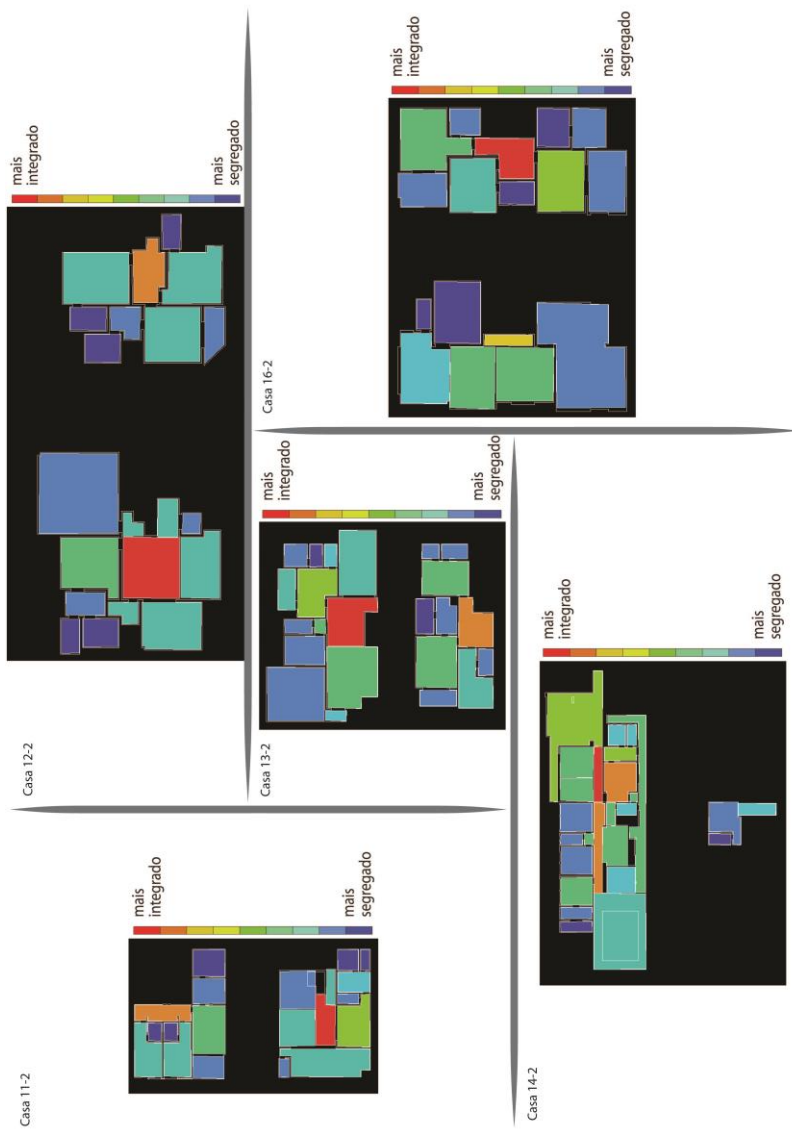


Figura 88 - Mapas convexos de integração por modelo considerando a análise de permeabilidade.

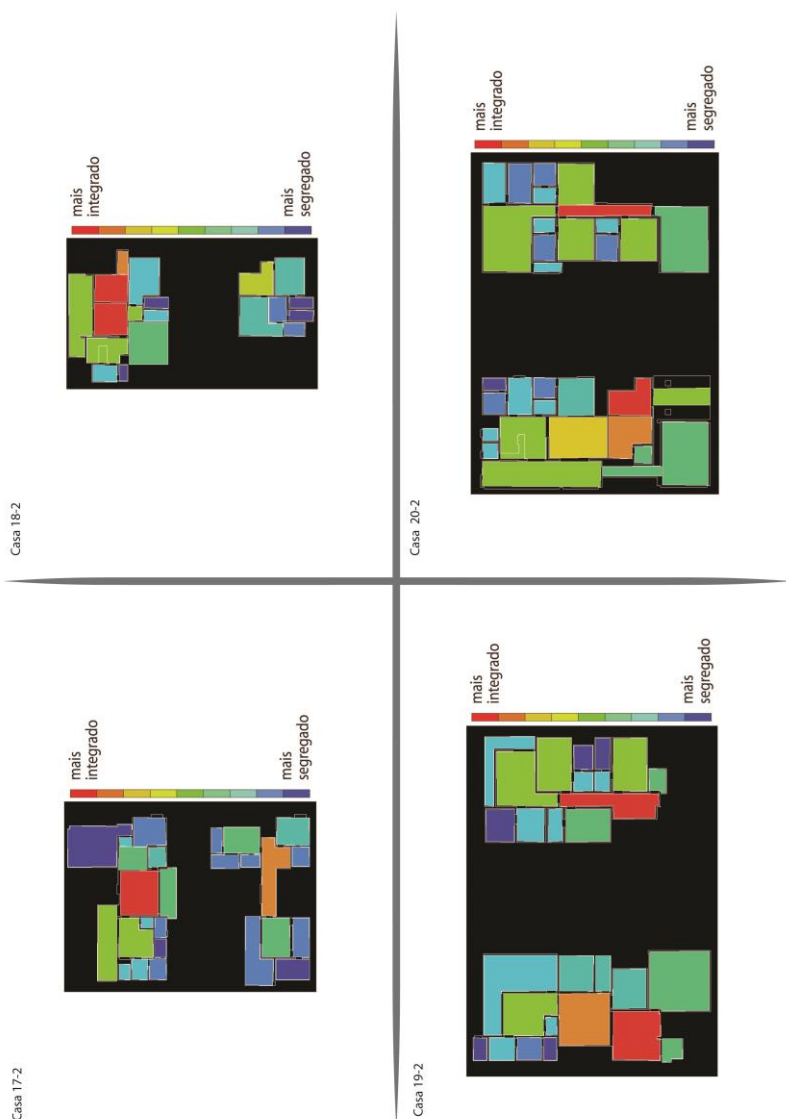


Figura 89 - Mapas convexos de integração por modelo considerando a análise de permeabilidade.

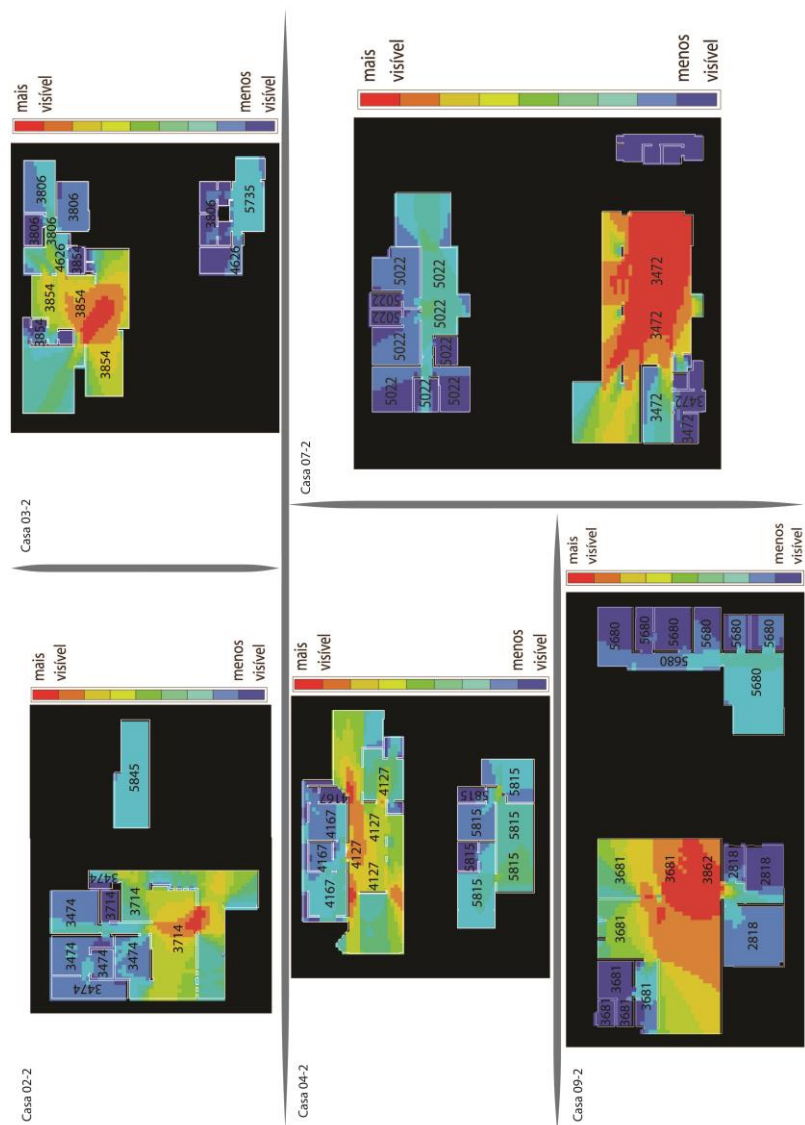


Figura 90 - Mapas VGA de conectividade por modelo considerando a análise de visibilidade com seus respectivos valores de graus-hora>26°C por zona, para a situação na qual as janelas permanecem sempre abertas.

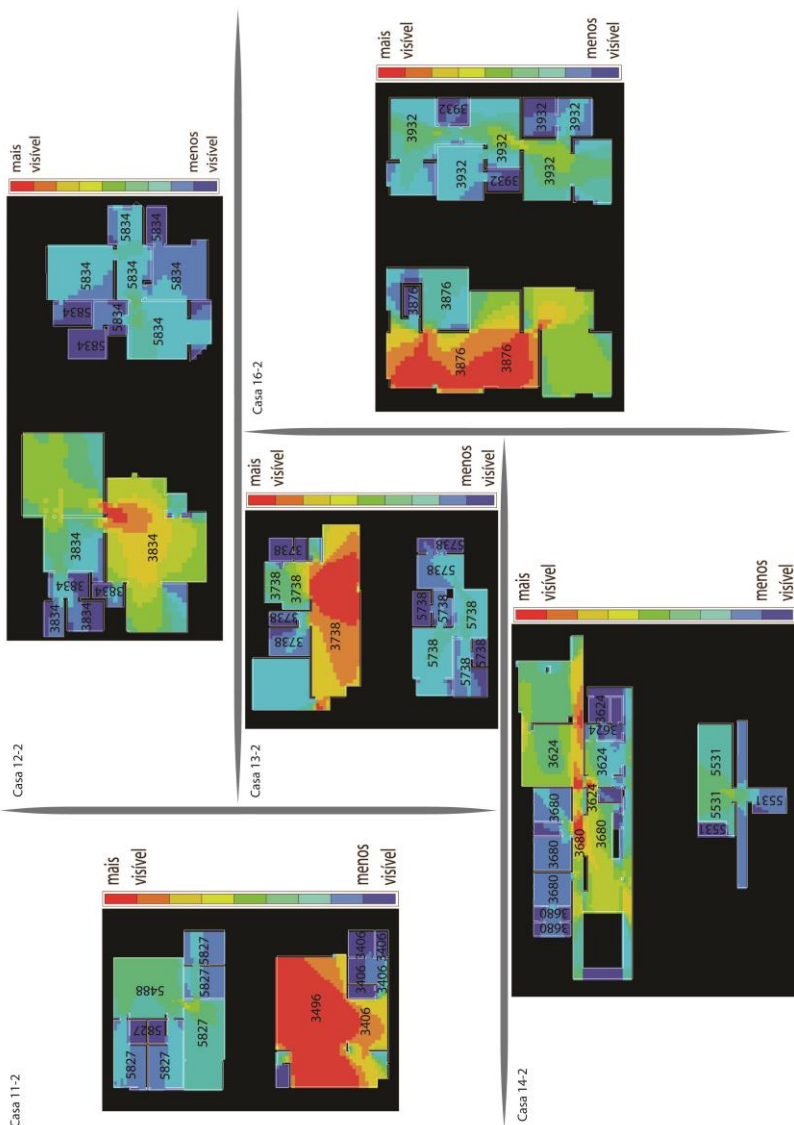
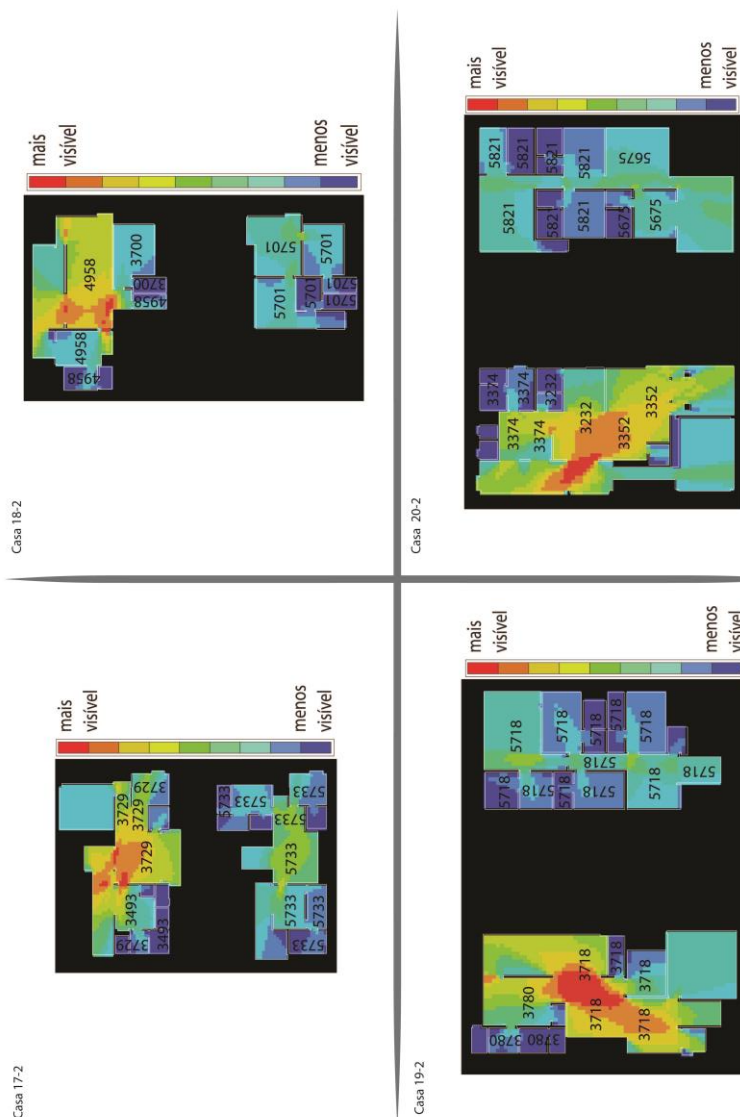
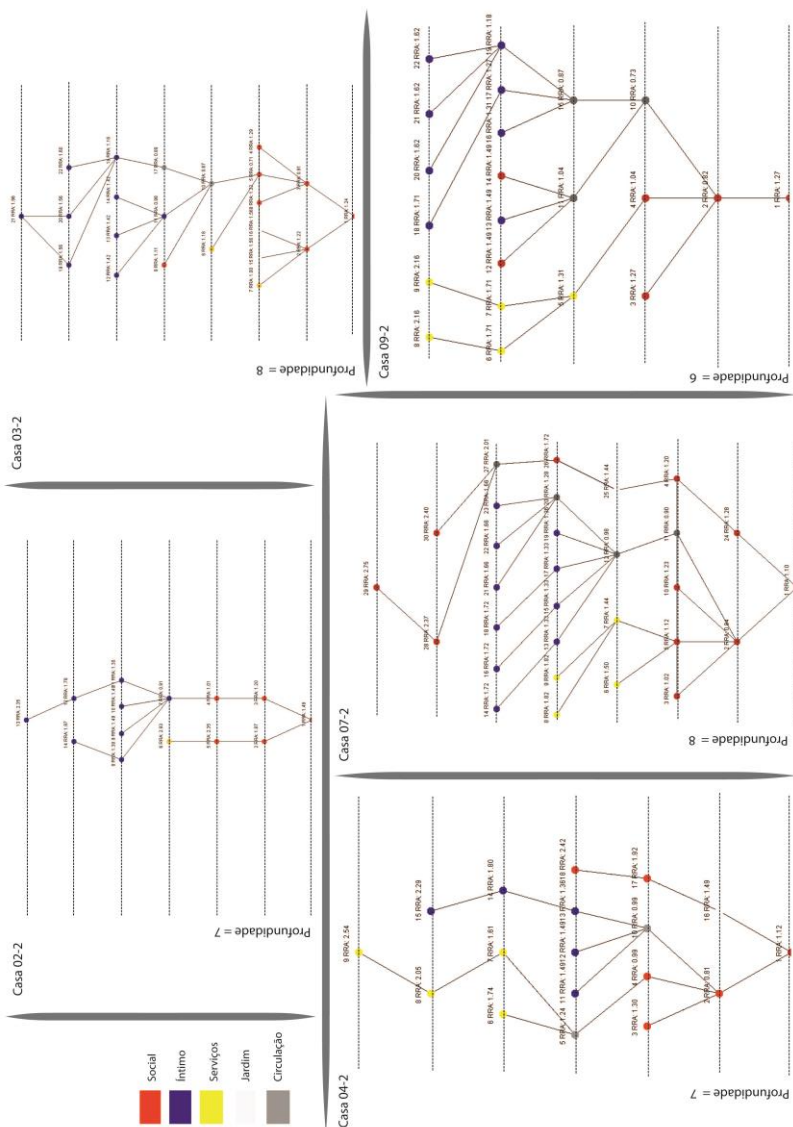


Figura 91 - Mapas VGA de conectividade por modelo considerando a análise de visibilidade com seus respectivos valores de graus-hora>26°C por zona, para a situação na qual as janelas permanecem sempre abertas.





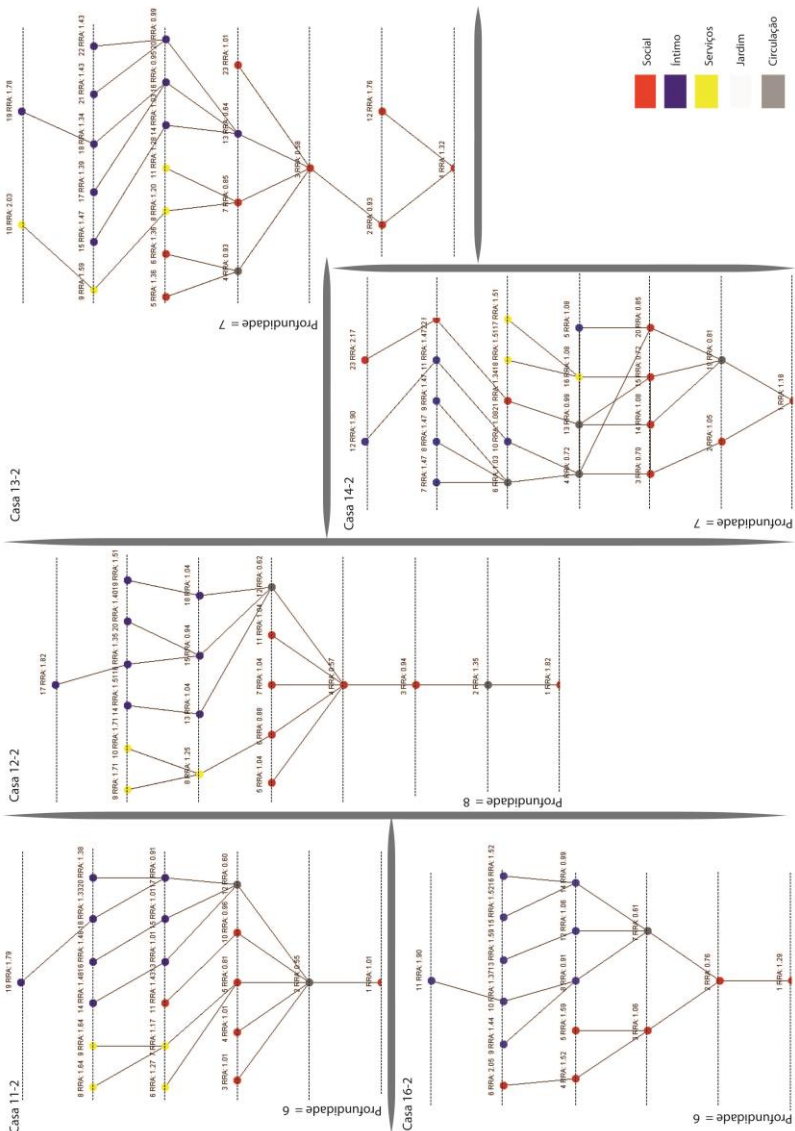
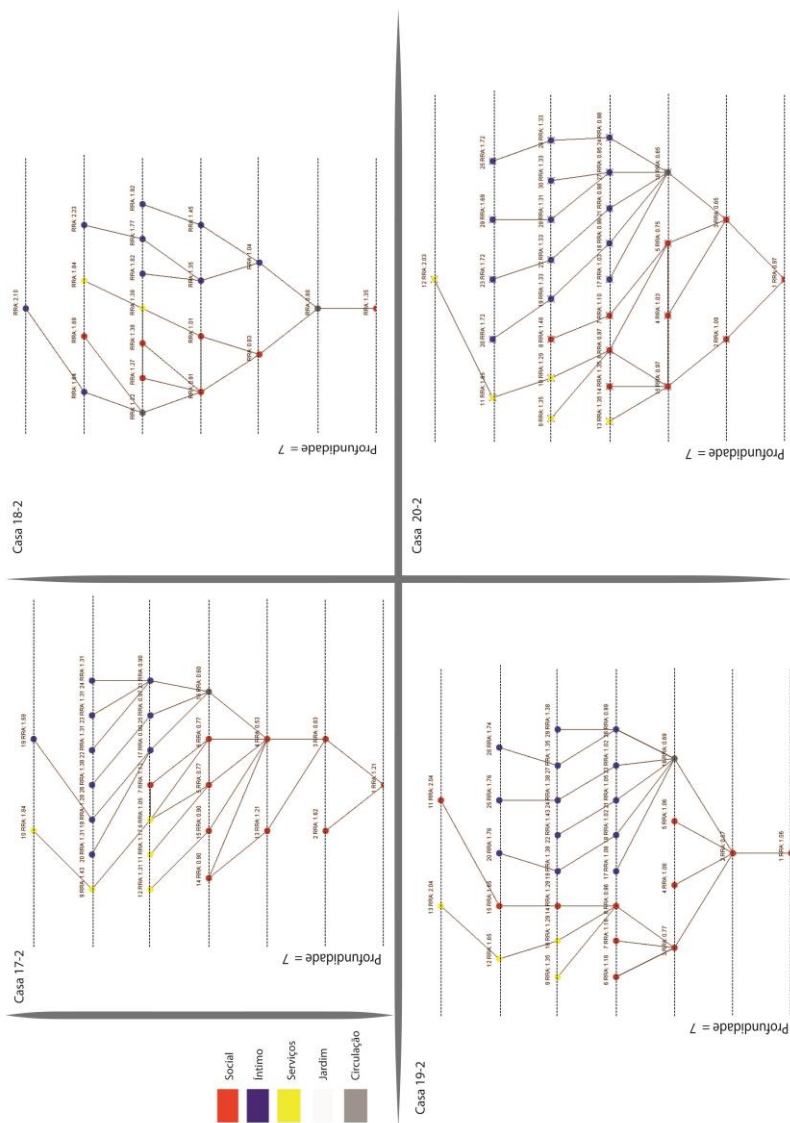


Figura 94 - Grafos justificados para cada sistema configuracional residencial. A raiz do sistema (porta de entrada principal) situa-se no primeiro nível de profundidade.



A Tabela 14 apresenta os valores extraídos das análises sintática e térmica realizadas com os modelos do Grupo 02. Os valores de desempenho térmico relativos a Graus-hora>26°C são quase sempre mais baixos no caso em que se mantêm as janelas sempre fechadas, assim como no Grupo 01, considerando-se que as trocas térmicas internas são menores e nesse caso a massa construída consegue manter uma temperatura interna mais baixa, uma vez que também são desconsideradas cargas térmicas internas. Considerando a média geral por modelo, pode-se afirmar que o modelo 09-2 possui os menores valores de Graus-hora>26°C para ambos os casos de ventilação (janelas sempre abertas e janelas sempre fechadas).

Com relação aos valores de Conectividade foram extraídas as médias por zona e em geral as zonas sociais possuem os valores mais altos, revelando-se como as mais conectadas dentro dos sistemas. Considerando a média geral por modelo simulado, o modelo 11-2 apresenta-se como o mais conectado de todos.

Já com relação aos valores de Integração (permeabilidade) as zonas sociais, juntamente com as zonas de circulação, quase sempre apresentam os maiores valores. Desse modo, essas apresentam os valores mais altos para a medida em questão, revelando-se como as mais integradas, considerando a questão da permeabilidade. Nesse caso, considerando a média geral por modelo simulado pode-se afirmar que o modelo 09-2 é o mais integrado de todos, para o caso da permeabilidade.

A medida de integração, que considera a visibilidade, também extraída por zona e como média, comporta-se de maneira semelhante à integração (permeabilidade), apresentando zonas de circulação com valores altos, ou seja, bastante integradas, porém com zonas sociais igualmente bem integradas. Pode-se afirmar que o modelo 09-2 é nesse caso o mais integrado, considerando-se a questão da visibilidade. Conforme afirmado anteriormente, o índice de fechamento foi extraído por modelo, diferentemente das medidas citadas anteriormente. Nesse caso, o modelo 02-2 apresenta o valor mais alto, revelando-se como o sistema mais fechado, ou compartimentado, quando comparado com os demais. Já o modelo 20-2 apresenta o menor índice de fechamento, revelando-se como o sistema menos compartimentado, ou seja, com menos divisões internas.

O índice de funcionalidade, assim como o índice de fechamento, foi extraído por modelo, pois se deve considerar o sistema configuracional como um todo. Nesse caso, o modelo 07-2 apresenta o valor mais alto, revelando-se como um sistema com menos áreas de circulação quando comparado com os demais. Já o modelo 03-2 apresenta o menor índice de funcionalidade, revelando-se com mais áreas de circulação, como corredores e circulações.

Foram extraídas também do grupo em questão medidas de taxas de trocas de ar (ach), nesse caso foram calculadas as médias anuais de trocas de ar por zona. Observando-se os dados da Tabela 12, percebe-se que em metade dos modelos simulados (02-2, 03-2, 04-2, 12-2, 13-2, 17-2 e 18-2) as zonas íntimas apresentam médias de taxas de trocas de ar mais altas que as zonas sociais. Já se considerando as médias dos valores entre zonas, percebe-se que o modelo 04-2 apresenta os valores mais altos de infiltração de ar. Isso se deve provavelmente à orientação sudeste da maior parte das aberturas de ambas as zonas íntimas e parte da zona social.

Tabela 14 - Valores de medidas de sintaxe espacial e desempenho térmico obtidos na pesquisa por zona ou por modelo (Grupo 02).

	Zona	Graus- us- hora >26° C (jan elas sem pre aber tas) por zona	Graus- hora> 6°C (jane s sempr e fechac as) poi zona	Conectiv idade Média (VGA) por zona	Inte graç ão/ per mea bilid ade Méd ia (VG A) por zon a	Inte graç ão/v isibil idad e Méd ia (VG A) por zona	Média de Taxas de Trocas de ar (ach) por zona	Índi ce de fech ame nto por mod elo	Índi ce de func iona lida de por mod elo
Dois Pavimentos									
Casa 02-2	ZS	3714	1939	438.14	5.73	7.1	15.93	0.3	0.7
	ZI	3474	1861	145.4	4.38	4.94	7.26	0.3	0.7
	01								

	ZI 02	5845	4972	212.28	3.64	4.2	27.13	0.3	0.7
Média		4344	2924	265.27	4.58	5.41	16.77	0.3	0.7
Casa 03-2	ZS	3857	2362	553.58	6.62	7.94	18.62	0.25	0.45
	ZI 01	3806	2041	175.81	4.87	5.67	20.0	0.25	0.45
	ZI 02	5735	4516	170	3.8	4.15	19.22	0.25	0.45
	ZC 01	4626	2931	376.7	7.93	8.28	1.96	0.25	0.45
	ZC 02	4626	2931	127.9	4.89	5.31	1.96	0.25	0.45
Média		4530	2956	280.8	4.3	5.62	12.35	0.25	0.45
Casa 04-2	ZS	4127	3994	451.7	5.59	7.15	33.03	0.19	0.6
	ZI 01	4167	3844	178.18	4.85	5.09	34.7	0.19	0.6
	ZI 02	5815	6026	215.87	4.0	4.84	20.94	0.19	0.6
Média		4703	4621	282.0	4.81	5.69	29.56	0.19	0.6
Casa 07-2	ZS	3472	1739	732.87	7.12	6.96	15.79	0.18	1.25
	ZI	5022	3802	228.14	4.87	4.83	8.25	0.18	1.25
Média		4247	2770	480.5	6.0	6.0	12.02	0.18	1.25
Casa 09-2	ZS	3681	2069	815.73	8.18	8.23	19.23	0.21	0.55
	ZC	3862	2223	1019.52	10.47	10.4 7	12.46	0.21	0.55
	ZI 01	2818	1362	204.41	5.12	5.1	4.51	0.21	0.55
	ZI 02	5680	4799	224.1	4.92	4.92	13.85	0.21	0.55
Média		4010	2613	565.94	7.17	7.18	12.51	0.21	0.55
Casa 11-2	ZS 01	3496	2116	501.5	5.21	5.28	8.37	0.25	1.0
	ZI	5827	5309	273.41	4.23	4.7	17.62	0.25	1.0
	ZC	5488	4495	494.16	6.7	8.04	8.23	0.25	1.0

	ZS 02	3406	2032	1096.45	7.41	8.0	25.6	0.25	1.0
Média		4554	3488	591.38	5.89	6.5	15.96	0.25	1.0
Casa 12-2	ZS	3834	2716	357.4	5.96	6.3	8.68	0.28	0.95
	ZI	5834	5389	156.88	4.6	4.71	18.02	0.28	0.95
Média		4834	4052	255.64	5.28	5.51	13.35	0.28	0.95
Casa 13-2	ZS	3738	2480	546.72	5.41	7.17	14.56	0.21	1.15
	ZI	5738	5308	199.58	4.65	5.08	16.49	0.21	1.15
Média		4738	3894	373.15	5.03	6.13	15.5	0.21	1.15
Casa 14-2	ZI	3680	2035	258.3	5.66	5.33	8.17	0.17	0.48
	ZS 01	3624	1901	374.38	6.25	5.71	5.73	0.17	0.48
	ZS 02	5531	4363	297.06	3.85	3.91	31.15	0.17	0.48
Média		4278	2766	185.13	5.25	4.98	15.01	0.17	0.48
Casa 16-2	ZS	3876	3125	407.93	6.17	6.23	17.36	0.28	0.85
	ZI	5932	5804	194.57	4.42	4.63	10.2	0.28	0.85
Média		4904	4465	301.25	5.30	5.43	13.78	0.28	0.85
Casa 17-2	ZS 01	3493	2033	285.19	4.75	4.62	13.68	0.18	1.3
	ZS 02	3729	2465	668.42	6.46	6.84	17.74	0.18	1.3
	ZI	5733	5150	340.83	4.78	5.57	23.21	0.18	1.3
Média		4318	3216	431.48	5.33	5.68	18.21	0.18	1.3
Casa 18-2	ZS	4958	2317	377.11	5.55	6.76	7.8	0.19	0.95
	ZI 01	3700	1933	190.66	4.32	4.64	21.94	0.19	0.95
	ZI 02	5701	4803	184.47	3.84	4.65	18.44	0.19	0.95

Média		4786	3018	250.75	4.57	5.35	16.06	0.19	0.95
Casa 19-2	ZS 01	3718	2449	634.7	5.31	5.85	14.07	0.17	0.97
	ZS 02	3780	2406	360.43	4.38	4.67	22.83	0.17	0.97
	ZI	5718	5168	239.0	3.95	4.5	12.02	0.17	0.97
Média		4405	3341	411.38	4.55	5.0	16.3	0.17	0.97
Casa 20-2	ZS 01	3352	2280	767.15	5.97	6.27	9.51	0.16	1.1
	ZS 02	3374	1961	684	3.66	4.06	14.71	0.16	1.1
	ZS 03	3232	2009	339.47	4.74	5.07	15.88	0.16	1.1
	ZI 01	5675	5169	337.6	3.84	5.33	0.45	0.16	1.1
	ZI 02	5821	5516	252.1	3.71	3.61	15.45	0.16	1.1
Média		4290	3387	476.06	4.38	4.87	11.2	0.16	1.1

4.3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS FINAIS

Medidas de Sintaxe Espacial X Desempenho Térmico (Geral)

Observa-se que a Casa 10-1, a qual possui a Zona Social com um dos maiores valores de integração e conectividade é também o projeto que obteve um dos menores números de graus-hora $>26^{\circ}\text{C}$ (para ambas as situações analisadas), juntamente com a Casa 05-1 e a Casa 08-1. Por outro lado, a Casa 12-2 e a Casa 16-2 possuem os piores desempenhos térmicos. As mesmas apresentam valores de integração e conectividade baixos em ambas as zonas, Figura 96 a Figura 101.

É importante notar-se que o desempenho térmico de quase todos os modelos melhorou, com exceção de uma zona (ZI02) da Casa 04-2, quando as janelas externas foram consideradas fechadas durante todo o tempo da simulação, Figura 96 e Figura 97. A partir desse resultado, pode-se concluir que manter as janelas fechadas durante todo o tempo da simulação, nesses casos, é melhor do que o que é feito usualmente

em natal quando as janelas são quase sempre mantidas abertas devido ao clima propício. Porém, ambas as análises (janelas sempre abertas ou fechadas) seguem o mesmo padrão de distribuição de desempenho térmico por zona na maioria dos casos.

Deve-se atentar, porém, para o fato de que cargas térmicas geradas por ocupantes e equipamentos não foram consideradas nas simulações, conforme explicado na metodologia. Caso essas fossem consideradas, a ventilação natural seria essencial para facilitar trocas de calor por convecção de modo passivo, tanto para ocupantes como para eventuais equipamentos igualmente geradores de calor. Por não existirem essas cargas internas é que as temperaturas operativas internas dos modelos se mantêm mais baixas nos casos onde as janelas permanecem fechadas, pois a massa térmica da edificação leva mais tempo para ser aquecida sem que o calor entre pelas aberturas através do vento.

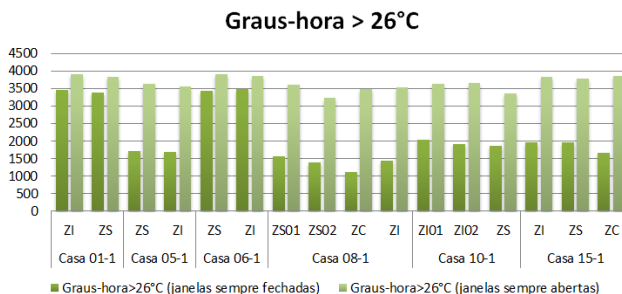


Figura 96 – Graus-hora>26°C anual por zona – Grupo 01.

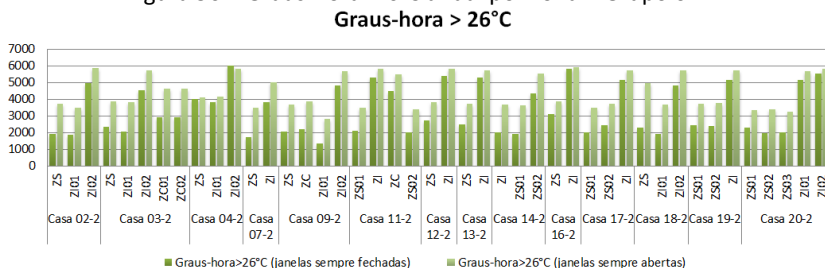


Figura 97 – Graus-hora>26°C anual por zona – Grupo 02.

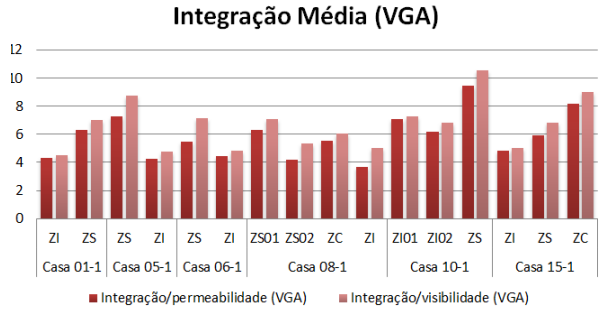


Figura 98 – Integração média por zona – Grupo 01.

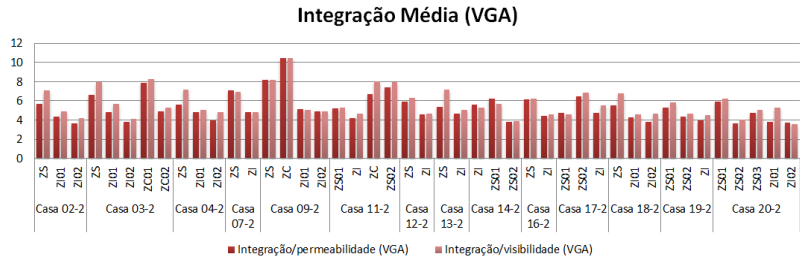


Figura 99 – Integração média por zona – Grupo 02.

Percebe-se que, em geral, os valores de integração e conectividade média (Figura 98 a Figura 101) das zonas sociais são os mais altos, fato que confirma as análises dos mapas VGA e convexos, os quais apontam para espaços como salas de estar e jantar como os mais integrados em quase todos os sistemas, ou modelos analisados.

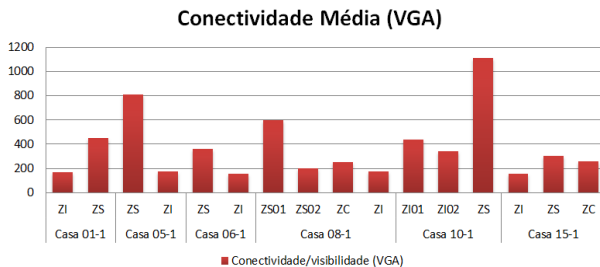


Figura 100 – Valores de conectividade média por zona – Grupo 01.

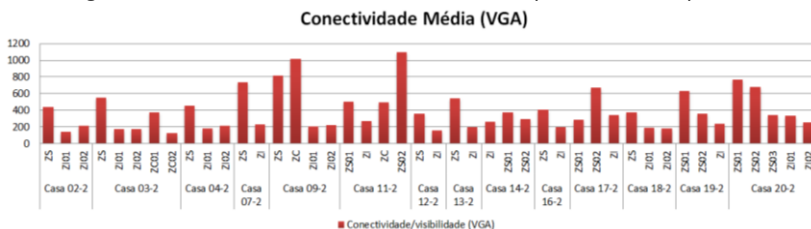


Figura 101 - Valores de conectividade média por zona – Grupo 02.

Enquanto as simulações de desempenho térmico revelam as Casas 05-1, 08-1 e 10-1 como as de melhor desempenho térmico, as duas primeiras possuem o design mais compacto e a segunda tem a planta mais espalhada. Por outro lado, a Casa 16-2, o modelo com maior número de graus-hora >26°C em média (Figura 97), possui um dos mais altos valores para o índice de fechamento (Figura 107), assim como valores médios de taxa de trocas de ar anual (Figura 103) não muito altos se comparados com os demais modelos.

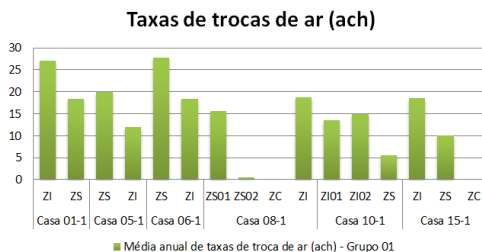


Figura 102 – Valores médios de trocas de ar por zona – Grupo 01.

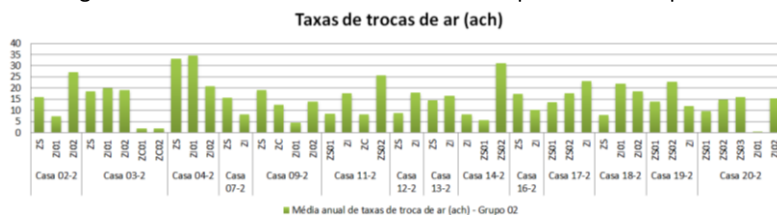


Figura 103 – Valores médios de trocas de ar por zona – Grupo 02.

A Casa 05-1, uma das mais eficientes, com menor número de graus-hora > 26°C, e de design compacto, possui índice de fechamento relativamente baixo (Figura 106), já a Casa 10-1, de design mais espalhado, possui índice de fechamento semelhante, um pouco superior, à Casa 05, porém valores médios de taxas de troca de ar mais baixos (Figura 102).

Esse padrão identificado entre baixo índice de fechamento, alta compacidade, e melhor desempenho térmico é interessante porque pode levar à conclusão de que é possível ter-se edificações mais compactas com menos divisões internas (e então menores valores de índice de fechamento) e melhor desempenho térmico. No entanto, por outro lado, quanto mais espalhada for a planta do projeto, a mesma deveria apresentar maiores valores de índice de fechamento tendo em vista uma melhor distribuição das trocas de ar por zona, conforme observado na Casa 10-1 (Figura 102).

A Figura 104 e a Figura 105 apresentam uma comparação geral da variação dos valores extraídos (Integração/permeabilidade, Integração/visibilidade, Conectividade, Taxas de trocas de ar e Graus-hora > 26°C) através das simulações por zonas para o Grupo 01 e para o Grupo 02. Sendo assim, o Grupo 01 apresenta um total de 16 zonas e o Grupo 02 um total de 44.



Figura 104 – Valores extraídos por zonas para o Grupo 01. Escala Logarítmica.

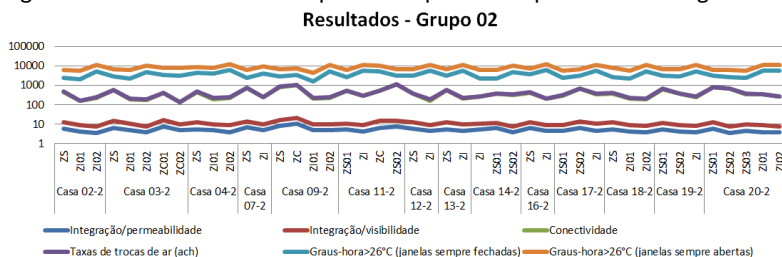


Figura 105 – Valores extraídos por zonas para o Grupo 02. Escala Logarítmica. Observa-se então que as medidas em geral apresentam maior variação no Grupo 02, com dois pavimentos. As medidas que mais variam entre modelos para ambos os grupos são Conectividade e Taxas de trocas de ar (ach). Os valores de Graus-hora>26°C (janelas sempre abertas e janelas sempre fechadas) variam de modo semelhante especialmente para os modelos pertencentes ao Grupo 02. Os valores médios para as medidas de Integração (permeabilidade e visibilidade) também variam de modo semelhante entre os modelos para ambos os grupos analisados. Os valores médios de Integração (permeabilidade e visibilidade) e valores de Graus-hora >26°C (janelas sempre abertas e janelas sempre fechadas) variam de modo oposto, especialmente para os modelos do Grupo 02. Pode-se observar também que de modo geral as zonas sociais são mais conectadas e integradas para ambos os grupos. Além de apresentarem, em geral, os valores mais baixos de Graus-hora>26°C.

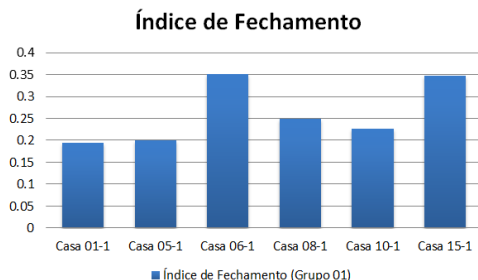


Figura 106 – Índice de fechamento por casa – Grupo 01.

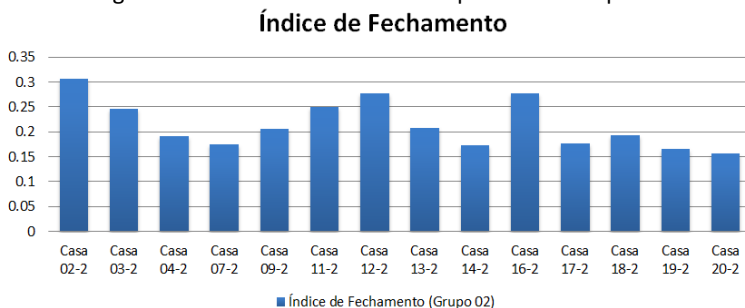


Figura 107 - Índice de fechamento por casa – Grupo 02.

Sistemas mais compactos possuem menos superfícies externas expostas e, desse modo, menos troca de calor com o exterior. Esse padrão é observado na Casa 01-1, Casa 05-1 e na Casa 08-1, mais compactas, as quais possuem valores relativamente baixos para índice de fechamento (Figura 106) e desempenho térmico razoável (Figura 96). Menores índices de fechamento significa maior número de divisões internas (paredes), o que leva a crer que quanto menos divisões internas, melhor o desempenho térmico da edificação, pois teoricamente haveria menos obstruções à passagem da ventilação natural. Assim como também, haveria menos massa edificada para ser refrigerada.

Os valores para índice de funcionalidade desses modelos compactos mencionados (Casa 01-1, Casa 05-1 e Casa 08-1) também estão entre os mais baixos de toda a amostra analisada, abaixo de 0.6 (Figura 108). A Casa 10-1, porém, menos compacta, mas com bom desempenho térmico, possui índice de funcionalidade um pouco mais alto, na faixa de 1.0 a 1.2. Desse modo, pode-se afirmar que quanto maior o índice

de funcionalidade, menor a área interna destinada a circulações, fato que amplia a área dos ambientes de permanência prolongada, os quais possuem maiores áreas de abertura externa, proporcionando assim maior ventilação cruzada.

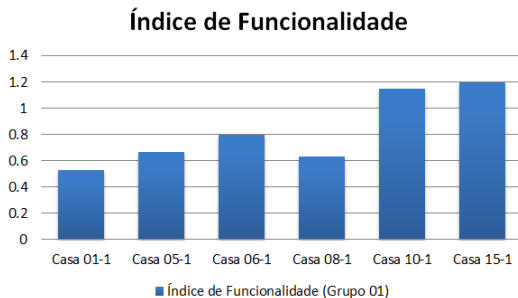


Figura 108 – Índice de funcionalidade por casa – Grupo 01.

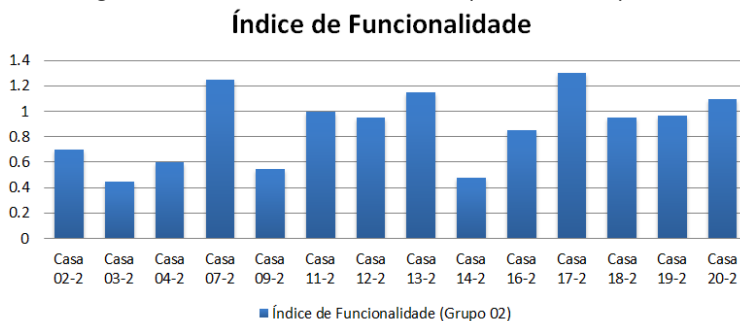


Figura 109 - Índice de funcionalidade por casa – Grupo 01.

Para o percentual de abertura na fachada (PAFt) observa-se que não há grande diferença entre os percentuais obtidos para cada modelo, conforme esperado, especialmente considerando que o percentual de abertura foi calculado para cada modelo seguindo as proporções de $1/6$ (ambientes de permanência prolongada) e $1/8$ da área de piso (ambientes de permanência temporária). Porém, uma vez que esse percentual de abertura foi padronizado, o PAFt, teoricamente, não deveria igualmente variar. Sendo assim, percebeu-se que esse percentual varia devido a presença, em boa parte dos modelos (16 deles), de ambientes sem janelas externas. Espaços como circulações, closets, despensas e depósitos acabam por se localizar em áreas mais

internas das residências e por tal motivo não possuem participação no percentual de área de abertura (PAFt).

Desse modo, nota-se que o PAFt acaba variando entre 6% e 14%. Vale então observar que a Casa 5-1, com maior percentual de PAFt (14%), possui um dos melhores desempenhos térmicos, enquanto que a Casa 12-2, com menor percentual de PAFt (6.6%) , possui um dos piores desempenhos térmicos, conforme mencionado anteriormente. Isso se reflete também no índice de fechamento, uma vez que a Casa-1 possui valor mais baixo do que a Casa-12 para essa variável.

Percentual de abertura na Fachada (PAFt)

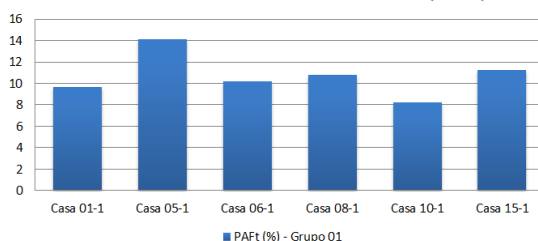


Figura 110 – Percentual de abertura na fachada por modelo – Grupo 01.

Percentual de abertura na Fachada (PAFt)

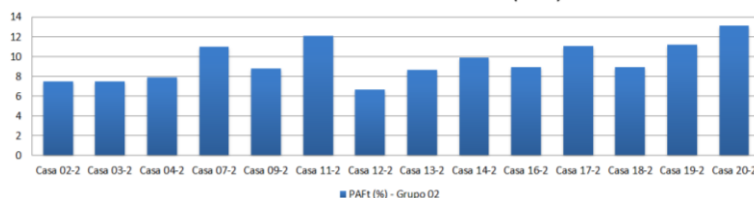


Figura 111 – Percentual de abertura na fachada por modelo – Grupo 02.

A Figura 112 e a Figura 113 apresentam uma comparação geral da variação dos valores médios extraídos (Integração/permeabilidade, Integração/visibilidade, Conectividade, Taxas de trocas de ar e Graus-hora>26°C, índice de funcionalidade e Índice de fechamento) através das simulações para cada modelo para ambos os grupos analisados. Sendo assim, o Grupo 01 apresenta um total de 06 valores médios (um para cada modelo) e o Grupo 02 um total de 14 valores médios para cada medida (um para cada modelo).

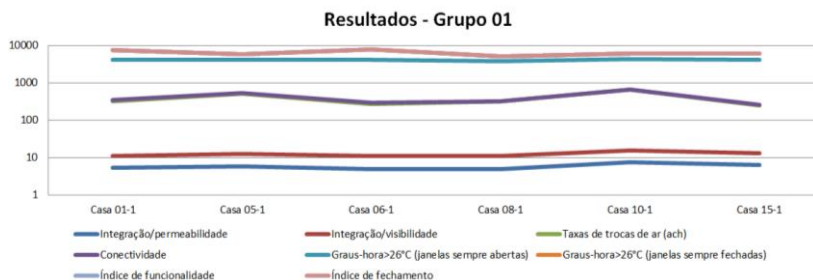


Figura 112 - Valores médios extraídos por zonas para o Grupo 01. Escala Logarítmica.

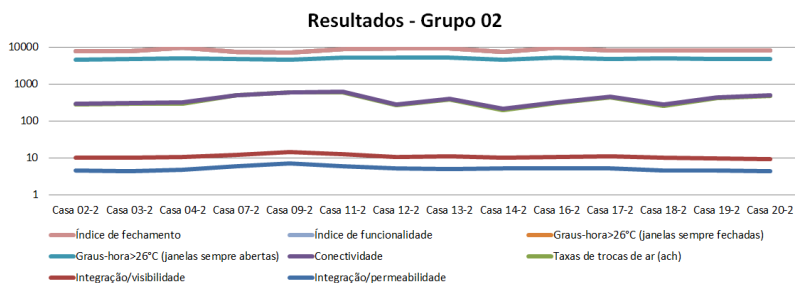


Figura 113 – Valores médios extraídos por zonas para o Grupo 02. Escala Logarítmica.

Observa-se então que as medidas em geral apresentam maior variação no Grupo 02, com dois pavimentos, porém a diferença na variação não é tão grande quanto no caso anterior onde os valores por zonas foram comparados e não por modelos. As medidas que mais variam entre modelos para ambos os grupos são Conectividade e Taxas de trocas de ar (ach). Os valores médios de Índice de fechamento e de Graus-hora>26°C (janelas sempre abertas) variam de modo semelhante especialmente para os modelos pertencentes ao Grupo 02. Os valores médios para as medidas de Integração (permeabilidade e visibilidade) também variam entre si de modo semelhante entre os modelos para ambos os grupos analisados. Os valores médios de Integração (permeabilidade e visibilidade) e valores de Graus-hora >26°C (janelas

sempre abertas e janelas sempre fechadas) variam de modo oposto, especialmente para os modelos do Grupo 02, porém a variação entre valores médios por modelos é bem mais sutil do que quando considerados os valores por zonas. No grupo 02, pode-se observar mais claramente, que quanto melhor o desempenho térmico, menos Graus-hora $>26^{\circ}\text{C}$, menores os índices de fechamento, nesse caso as duas variáveis apresentam variação semelhante.

Leitura grafos justificados

Através dos grafos justificados (Figura 77, Figura 93, Figura 94 e Figura 95) foi possível observar que a Casa 15-1 é o sistema mais raso da amostra e o mesmo é distribuído em cinco níveis de profundidade. Em seguida, têm-se os modelos Casa-01, Casa 05-1 e Casa 08-1, todos com apenas um pavimento e com profundidade de seis níveis. Há também os modelos com dois pavimentos e seis níveis de profundidade: Casa 09-2, Casa 11-2 e Casa 16-2. Já para os sistemas mais profundos, com oito níveis de profundidade, têm-se os modelos: Casa 03-2, Casa 07-2 e Casa 12-2.

É interessante notar que quanto mais profundo o sistema é, menores seus valores de integração (RRA) tendem a ser, assim como também, pior é seu desempenho térmico, considerando que entre os modelos mais rasos, estão aqueles que obtiveram menores números de graus-horas $>26^{\circ}\text{C}$ e entre os modelos mais profundos estão os que apresentaram pior desempenho térmico (Figura 96 e Figura 97).

Medidas de Sintaxe Espacial X Trocas de Ar

Considerando a relação entre medidas de Sintaxe Espacial, tais como conectividade e taxas de troca de ar (ach), é interessante notar que não há correlação entre as mesmas (Figura 114 e Figura 115), considerando-se que os valores obtidos são bem baixos. Já no caso da Integração, quanto menores os valores de integração são maiores são as taxas de troca de ar (correlação negativa), com valores de correlação um pouco mais altos que o caso anterior, porém ainda fracos, conforme Figura 116 a Figura 119.

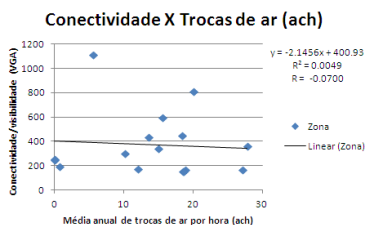


Figura 114 – Conectividade versus Trocas de ar (ach), 01 Pavimento.

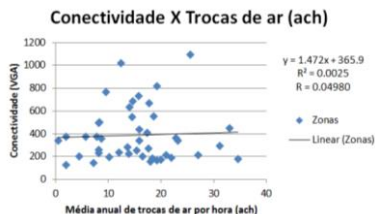


Figura 115 - Conectividade versus Trocas de ar (ach), 02 Pavimentos.

As correlações encontradas entre valores de Conectividade (visibilidade) e taxas anuais de troca de ar (ach) são -0.07 (Grupo 01) e 0.05 (Grupo02), bem fracas (Figura 114 e Figura 115). Para a correlação entre os valores de Integração (visibilidade) e taxas anuais de troca de ar (ach) foi encontrado -0.29, para um pavimento (Grupo 01), e -0.11 para dois pavimentos (Grupo02), conforme Figura 117 e Figura 119. Entretanto, considerando os valores para Integração (permeabilidade), a correlação é um pouco mais alta, porém, continuam fracas, -0.33, para um pavimento (Grupo 01) e -0.16 para dois pavimentos (Grupo 02), conforme Figura 116 e Figura 118.

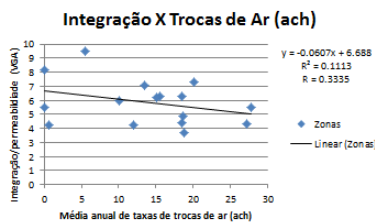


Figura 116 –
Integração/permeabilidade versus
Trocas de ar (ach) para residências
com 01 pavimento.

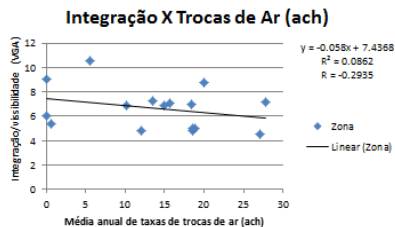


Figura 117 - Integração/visibilidade
versus Trocas de ar (ach) para
residências com 01 pavimento.

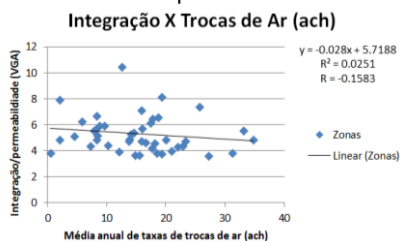


Figura 118 -
Integração/permeabilidade versus
Trocas de ar (ach) para residências
com 02 pavimentos.

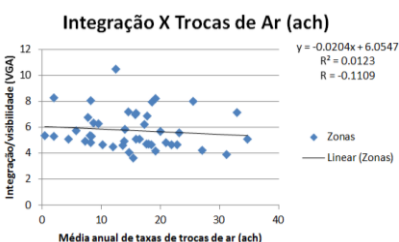


Figura 119 - Integração/visibilidade
versus Trocas de ar (ach) para
residências com 02 pavimentos.

Desse modo, não se pode afirmar que exista uma relação expressiva entre as variáveis analisadas, Conectividade, Integração e Trocas de ar, uma vez que os valores obtidos para correlações entre as mesmas são fracos.

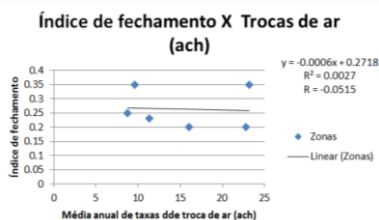


Figura 120 – Índice de Fechamento
versus trocas de ar anuais (ach), 01
pavimento.

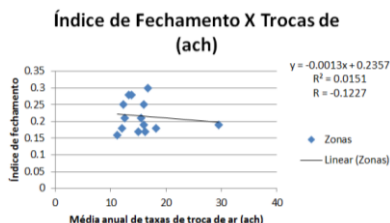


Figura 121 - Índice de Fechamento
versus trocas de ar anuais (ach), 02
pavimentos.

Igualmente baixos são os valores de correlação encontrados entre as variáveis Índice de Fechamento e taxas de troca de ar (ach), esses são -0.05 (Grupo 01) e -0.12 (Grupo 02), Figura 120 e Figura 121. Já os valores de correlação encontrados para a relação entre as variáveis índice de funcionalidade e Trocas de ar (ach) são um pouco mais expressivos, esses são -0.51 (Grupo 01) e -0.16 (Grupo 02), conforme Figura 122 e Figura 123.

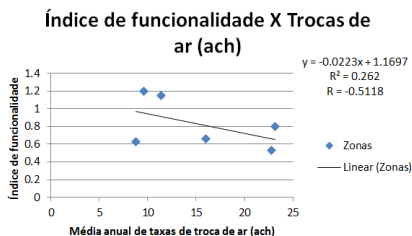


Figura 122 - Índice de Funcionalidade versus trocas de ar anuais (ach), 01 pavimento.

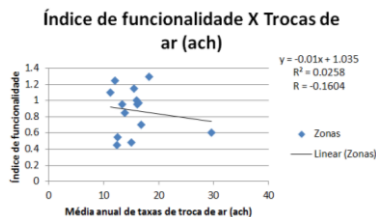


Figura 123 - Índice de Funcionalidade versus trocas de ar anuais (ach), 02 pavimentos.

Considerando que há uma correlação moderada entre índice de funcionalidade e Taxas de trocas de ar, para o Grupo 01 (01 pavimento) da amostra, pode-se afirmar que quanto menor o índice de funcionalidade, maior a média anual de taxas de trocas de ar (ach). Ou seja, é possível afirmar que quanto mais espaços de circulação (corredores, halls) em uma edificação residencial, maior a taxa de infiltração do ar nos ambientes para edificações com apenas um pavimento, considerando a amostra analisada. Como boa parte dos espaços de circulação não possui ventilação direta, pois em geral configuram corredores internos, aumenta-se a área de piso destinada aos ambientes de permanência prolongada, as quais possuem aberturas proporcionalmente maiores, permitindo maior infiltração de ar. Porém, deve-se atentar para o fato de que a infiltração de ar, ou taxas de trocas de ar, também está bastante relacionada com a orientação dos espaços nas edificações. Entretanto, vale ressaltar que a orientação das residências pertencentes à amostra não varia muito, uma vez que é prática comum dos projetistas da região posicionarem os ambientes de maior permanência voltados para o Leste tendo em

vista um melhor aproveitamento da ventilação natural, assim como uma menor exposição à radiação solar direta.

Medidas de Sintaxe Espacial X Desempenho Térmico

Figura 124, Figura 125, Figura 126 e Figura 127 mostram a relação entre Índice de fechamento e Graus-hora>26°C de modo mais detalhado. Vale atentar para o fato de que alto índice de fechamento não significa o mesmo que compacidade de design (planta baixa). O índice pode variar em projetos com plantas mais compactas ou mais espalhadas, pois depende das divisões internas e não da área de fachada exposta.

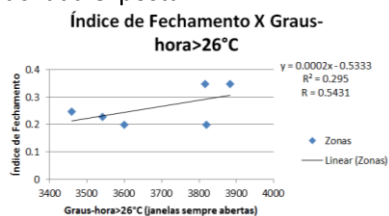


Figura 124 – Índice de Fechamento versus Graus-hora>26°C, janelas abertas (01 pavimento).

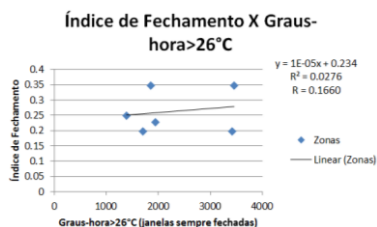


Figura 125 - Índice de Fechamento versus Graus-hora>26°C, janelas fechadas (01 pavimento).

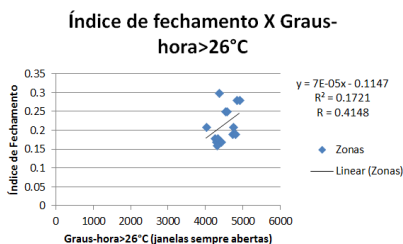


Figura 126 - Índice de Fechamento versus Graus-hora>26°C, janelas abertas (02 pavimentos).

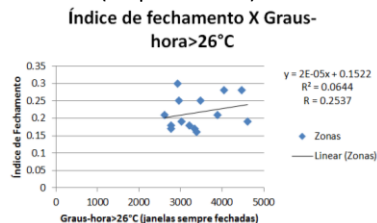


Figura 127 - Índice de Fechamento versus Graus-hora>26°C, janelas fechadas (02 pavimentos).

As correlações encontradas entre ambas as variáveis em questão vão de fracas a moderadas, conforme observado da Figura 124 a Figura 127. Para índice de fechamento versus Graus-hora, considerando-se as janelas sempre abertas, têm-se correlações positivas moderadas de 0.54 (Grupo 01) e de 0.41 (Grupo 02). Já para a situação de simulação com as janelas sempre fechadas, têm-se correlações positivas fracas de 0.17 (Grupo 01) e de 0.25 (Grupo 02). Pode-se afirmar então que, para

o caso onde as janelas permanecem sempre abertas, quando as correlações são mais altas, quanto maior o índice de fechamento, maior o número de graus-hora $>26^{\circ}\text{C}$. Poderia ser explicado pelo fato de que quanto menor o índice de fechamento, menor o empecilho à ventilação natural e menor a massa edificada a ser resfriada, melhorando o desempenho térmico da edificação.

Entretanto, é interessante atentar para o fato de que no estudo piloto essas duas variáveis, índice de Fechamento e Graus-hora $>26^{\circ}\text{C}$ quando correlacionados, apresentaram correlação negativa forte, acima de 0.80, considerando-se as janelas sempre abertas.

A variável Graus-hora $>26^{\circ}\text{C}$ foi também relacionada com a variável Índice de Funcionalidade (Figura 128 a Figura 131), a qual ao invés de considerar a relação espaços convexos-espaços fechados, relaciona espaços convexos com espaços de circulação. Desse modo, foram encontradas correlações de bem fraca a fraca. Para índice de funcionalidade versus Graus-hora, considerando-se as janelas sempre abertas, têm-se correlações positivas bem fracas de 0.06 (Grupo 01) e de 0.09 (Grupo 02). Já para a situação de simulação com as janelas sempre fechadas, têm-se correlação positiva fraca de 0.28 (Grupo 01), e correlação negativa bem fraca de 0.12 (Grupo 02).

Uma vez que as correlações encontradas entre índice de funcionalidade e Graus-hora $>26^{\circ}\text{C}$ são baixas, não se pode afirmar que uma teria influência sobre a outra se considerando os casos analisados.

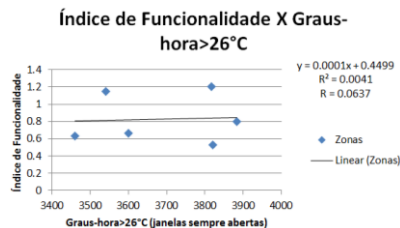


Figura 128 - Índice de Funcionalidade versus Graus-hora>26°C, janelas abertas (01 pavimento).

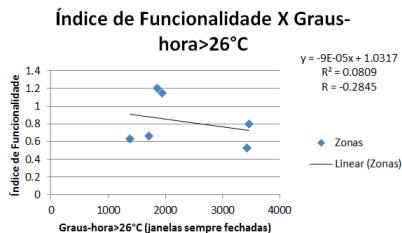


Figura 129 - Índice de Funcionalidade versus Graus-hora>26°C, janelas fechadas (01 pavimento).

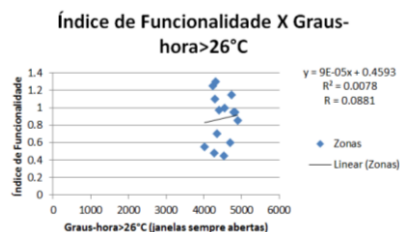


Figura 130 - Índice de Funcionalidade versus Graus-hora>26°C, janelas abertas (02 pavimentos).

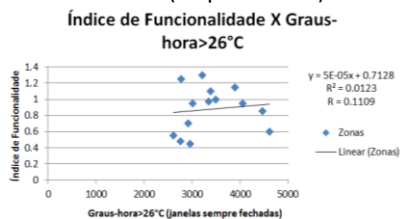


Figura 131 - Índice de Funcionalidade versus Graus-hora>26°C, janelas fechadas (02 pavimentos).

A relação entre integração (visibilidade e permeabilidade) e desempenho térmico (Graus-hora>26°C) é mais bem ilustrada entre a Figura 132 a Figura 135. As correlações negativas fracas encontradas entre os valores de Integração (visibilidade) e Graus-hora>26°C são -0.17 (Grupo 01) e -0.35 (Grupo 02). Já para correlações entre os valores de integração (permeabilidade) encontraram-se os valores fraco e moderado de -0.22 (Grupo 01) e -0.44 (Grupo 02).

Desse modo, é possível afirmar que para o Grupo 02 (02 pavimentos), quanto maiores os valores de integração, considerando a permeabilidade, menor o número de Graus-hora>26°C anuais obtidos, uma vez que esse caso apresentou a maior correlação (moderada) entre as duas variáveis analisadas.

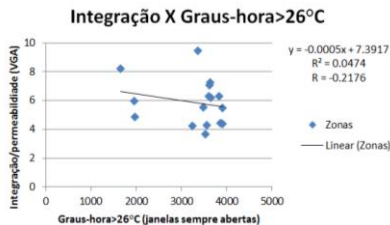


Figura 132 –
Integração/permeabilidade versus
Graus-hora (01 pavimento).
Integração X Graus-hora>26°C

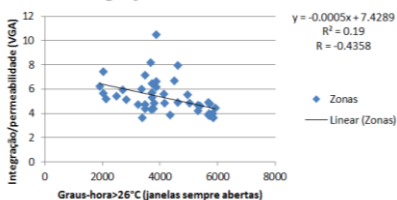


Figura 134 -
Integração/permeabilidade versus
Graus-hora (02 pavimentos).

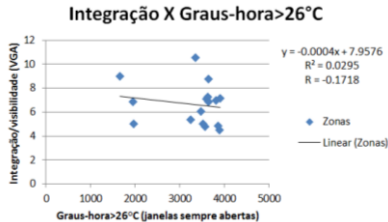


Figura 133 - Integração/visibilidade
versus Graus-hora (01 pavimento).

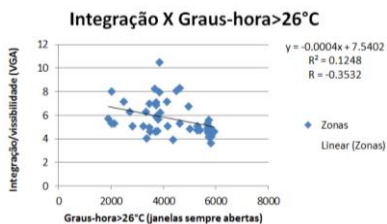


Figura 135 - Integração/visibilidade
versus Graus-hora (02 pavimentos).

A relação entre a medida de Sintaxe Espacial, Conectividade, e de desempenho térmico, Graus-hora>26°C, é ilustrada através da Figura 136 a Figura 139. Para conectividade (visibilidade) versus Graus-hora>26°C foi encontrada a correlação positiva bem fraca de 0.17 (Grupo 01), e a correlação negativa moderada de -0.47 (Grupo 02), para as simulações com janelas sempre abertas. Já para as simulações considerando as janelas sempre fechadas, encontraram-se correlações negativas de fraca a moderada, -0.29 (Grupo 01) e -0.40 (Grupo 02). Pode-se afirmar que para o Grupo 02 (02 pavimentos) quanto maiores os valores de conectividade, menor o número de Graus-hora>26°C anuais obtidos, uma vez que esse caso apresentou a maior correlação (moderada) entre essas duas variáveis analisadas.

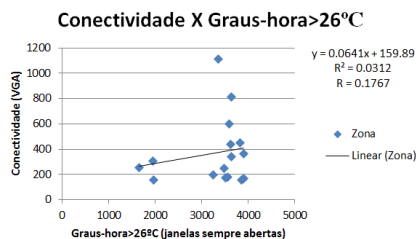


Figura 136 – Conectividade X Graus-hora>26°C, janelas sempre abertas (01 pavimento).

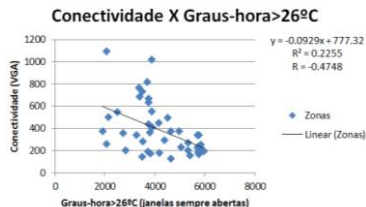


Figura 137 - Conectividade X Graus-hora>26°C, janelas sempre abertas (02 pavimentos).

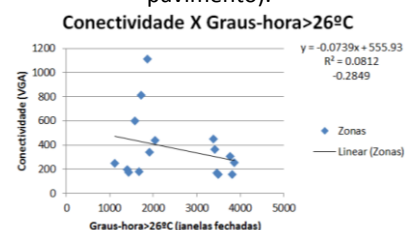


Figura 138 - Conectividade X Graus-hora>26°C, janelas sempre fechadas (01 pavimento).

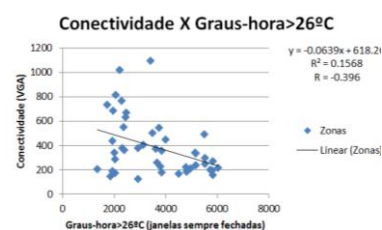


Figura 139 - Conectividade X Graus-hora>26°C, janelas sempre fechadas (02 pavimentos).

PAFt X Trocas de ar

Considerando-se que os percentuais de PAFt (Percentual total de abertura na fachada) variaram entre os modelos analisados, conforme constatado anteriormente, resolveu-se analisar a relação dessa variável, que se refere à forma da envoltória da edificação, com outras variáveis de desempenho térmico, como o número de Graus-hora>26° e as taxas de trocas de ar (ach).

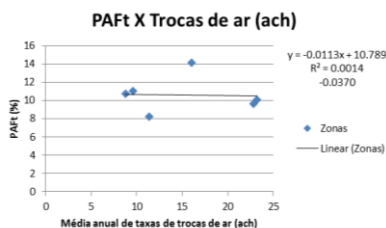


Figura 140 – PAFt versus trocas de ar anuais (ach), 01 pavimento.

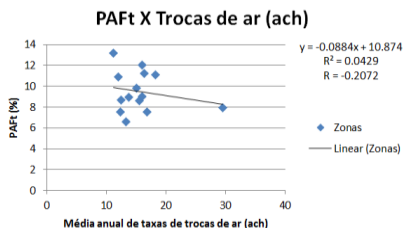


Figura 141 - PAFt versus trocas de ar anuais (ach), 02 pavimentos.

O PAft quando relacionado com a variável trocas de ar (ach), apresenta comportamento semelhante para ambos grupos de amostra analisado. Para o Grupo 01 (01 pavimento) a correlação encontrada entre ambas variáveis é negativa e muito fraca, de -0.04 (Figura 140). Já para o Grupo 02 a correlação é negativa e fraca, de -0.21 (Figura 141).

Portanto, não é possível afirmar que quanto maior o valor de PAft, maiores as taxas anuais de trocas de ar (ach) ou que há correlação entre ambas variáveis, para nenhum dos grupos analisados, uma vez que a orientação da planta baixa possui um papel importantíssimo na qualidade da ventilação natural de cada zona, considerando a incidência dos ventos predominantes.

PAft X Desempenho Térmico

Para a relação entre PAft (Percentual total de abertura na fachada) e número de Graus-hora $>26^{\circ}$, encontraram-se valores um pouco mais expressivos do que na comparação anterior com as taxas de trocas de ar (ach).

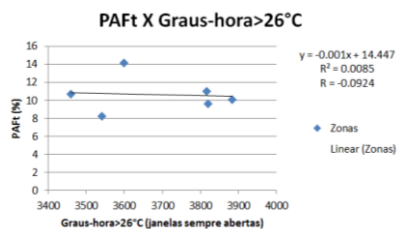


Figura 142 – PAFt versus Graus-hora>26°C, janelas sempre abertas, para residências com 01 pavimento.

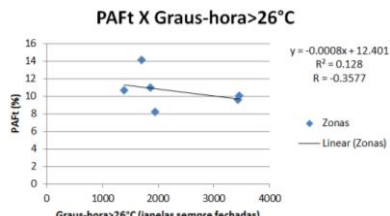


Figura 143- PAFt versus Graus-hora>26°C, janelas sempre fechadas, para residências com 01 pavimento.

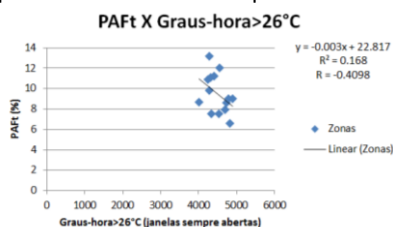


Figura 144 - PAFt versus Graus-hora>26°C, janelas sempre abertas, para residências com 02 pavimentos.

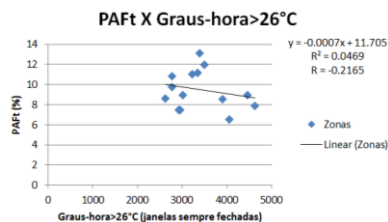


Figura 145 - PAFt versus Graus-hora>26°C, janelas sempre fechadas, para residências com 02 pavimento.

Desse modo, percebe-se que para o caso quando as janelas são consideradas sempre abertas têm-se os valores de correlação negativos, fraco de -0.10 (Grupo 01), e moderado de -0.41 (Grupo 02), conforme Figura 142 e Figura 144. Já para o caso quando as janelas são consideradas sempre fechadas tem-se o valor de correlação negativo fraco de -0.36 (Grupo 01) e o valor negativo fraco de -0.22 (Grupo) conforme Figura 143 e Figura 145.

Desse modo, levando em conta o valor de correlação moderado obtido, pode-se afirmar que, considerando-se as janelas sempre abertas, para o Grupo 02, quanto menor o valor do PAFt (%), maior o número de graus-hora>26°C, ou seja, pior o desempenho térmico do modelo analisado. Isso explicaria o impacto que o PAFt apresenta na ventilação das edificações, e consequentemente, a importância da mesma, especialmente para as edificações com mais de um pavimento, as quais apresentariam menor inércia térmica devido ao menor contato com o solo e maior exposição à radiação solar.

5. CONCLUSÕES GERAIS

Percebeu-se que as correlações negativas entre Integração (visibilidade e permeabilidade) e graus-hora $>26^{\circ}\text{C}$, e entre Conectividade e Graus-hora $>26^{\circ}\text{C}$ foram umas das mais altas da pesquisa, porém, moderadas, particularmente nos casos dos modelos com dois pavimentos. Nesses casos, em particular, é mais visível a diferença de desempenho térmico, conectividade e integração por pavimentos, uma vez que os modelos de dois pavimentos não contam com a inércia térmica observada nos pavimentos térreos e em geral os pavimentos superiores são mais segregados e menos conectados, assim como termicamente menos eficientes. Sendo assim, quanto maiores os valores de integração e conectividade, menor o número de Graus-hora $>26^{\circ}\text{C}$, ou seja, quanto mais integrados e conectados os espaços, melhor o desempenho térmico dos mesmos.

Sendo assim, caso se almeje o melhor desempenho térmico de uma residência, é importante se considerar a integração e a conectividade entre os espaços. Desse modo, espaços que promovam uma maior interação entre os habitantes da mesma, seja visual ou física, seriam mais indicados para essa finalidade. Já espaços que promovam maior segregação entre habitantes deveriam ser evitados.

As correlações entre Índice de Fechamento e Graus-hora $>16^{\circ}\text{C}$, e entre Índice de funcionalidade e Trocas de Ar (ach), também estiveram entre as mais altas, porém, moderadas. A relação entre as duas primeiras variáveis, em especial no estudo piloto, apresentou valor de correlação negativa forte, acima de 0.80, e continuou moderada na análise final, porém, positiva, em todas as análises. Porém, como o estudo piloto apenas considerou a análise de quatro modelos e não os separou por número de pavimentos, considera-se a correlação positiva obtida na análise da amostra final como a mais representativa. Fato que leva a crer que quanto menor o número de divisões internas de uma edificação (índice de fechamento), menor o número de Graus-hora $>26^{\circ}\text{C}$, ou seja, melhor seu desempenho térmico. Isso se daria especialmente a um menor empecilho à ventilação natural e a uma menor massa edificada a ser resfriada.

A correlação entre índice de Funcionalidade e Taxas de troca de ar (ach) é negativa e moderada. Desse modo, pode-se afirmar que quanto

menor o índice de funcionalidade, maior a média de taxas de trocas de ar (\dot{V}), ou seja, quanto menor o índice de funcionalidade, maior o número de circulações, as quais em residências geralmente são internas, abrindo espaço para ambientes, como os de permanência prolongada, aumentarem suas áreas de contato com a fachada e consequentemente o percentual de abertura nessas.

Uma vez que foi constatado que os valores de PAFt (percentual de abertura das fachadas) variaram para cada modelo, mesmo esses percentuais de abertura sendo padronizados de acordo com a área de piso, percebeu-se que isso se deve a presença constante de espaços com ausência de aberturas externas, como corredores, closets e despensas, nos projetos analisados. Desse modo, as correlações entre PAFt e Graus-hora $>26^{\circ}\text{C}$ em geral foram fracas para ambos os grupos analisados. Apenas sendo relevante para o grupo com dois pavimentos, onde as janelas se mantêm sempre abertas, com correlação negativa moderada. Sendo assim, quanto maiores os valores de PAFt, menor o número de Graus-hora $>26^{\circ}\text{C}$, ou seja, melhor o desempenho térmico, para o caso em questão. Entretanto, não foram encontradas correlações consideráveis entre valores de PAFt e de taxas de trocas de ar (\dot{V}).

Deve-se atentar para o fato de que nas comparações onde as taxas de trocas de ar (\dot{V}) são consideradas a questão da orientação do projeto com relação ao Norte geográfico pode influenciar um pouco nos resultados finais. Porém, é interessante notar que a posição dos ambientes conforme a função (social ou íntima) não varia muito com relação aos ventos dominantes (Sudeste), pois já é estratégia comum de boa parte dos arquitetos da região posicionarem as zonas íntimas voltadas para a orientação Leste.

Com relação aos grafos justificados observou-se através da amostra que os sistemas mais rasos, são em geral aqueles com melhor desempenho térmico, enquanto que os mais profundos possuem desempenho térmico inferior, reforçando os resultados das análises VGA de conectividade e integração visual e de permeabilidade. Os espaços íntimos e de serviço encontram-se, em geral, nos níveis mais profundos dos sistemas, e os sociais, nos níveis mais rasos, com apenas algumas exceções.

Sendo assim, talvez a resposta para melhores métodos de projeção, os quais almejem melhor desempenho térmico, seriam sistemas mais

rasos, porém com menores índices de fechamento, e alta conectividade e integração visual. Porém, a integração e conectividade dos espaços podem ser dosadas de acordo com a necessidade de privacidade, como por exemplo, para plantas mais compactas pode-se ter menores índices de fechamento, ou ambientes mais integrados, e plantas mais espalhadas podem ter maior índice de fechamento para ambientes menos integrados, não prejudicando assim o desempenho térmico. Conforme constatado, o índice de funcionalidade também pode ser utilizado como um dosador do nível de privacidade de uma edificação, especialmente quando integrado com o percentual do PAFt para regular o desempenho térmico.

Percebe-se que os valores de correlação (R) encontrados na pesquisa são, em geral, entre fracos e moderados, com algumas correlações fortes no estudo piloto. São desse modo, valores consideráveis e de importância para aqueles que lidam com o projeto de arquitetura. Entretanto, é importante deixar claro que os resultados obtidos através da pesquisa são parciais e significam uma primeira abordagem do tema.

Os estudos podem ainda ser estendidos a outros tipos de edificações como comerciais, institucionais, etc, para observar-se se a relação das variáveis se altera e de que modo isso se daria. Sendo assim, pode-se considerar que a Sintaxe Espacial é sim uma abordagem projetual interessante que pode muito bem ser explorada por projetistas não somente para variar o nível de interação entre pessoas nos espaços, como também para variar o nível de desempenho energético dos mesmos, considerando ambientes naturalmente ventilados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 15575: Edificações habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2008.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE; AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ANSI/ASHRAE 55-2010: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2010.

ALLARD, Francis (Edit.). **Natural Ventilation in Buildings**. A Design Handbook. London: James & James Ltd, 1998.

AMORIM, Luis Manoel do Eirado. **The Sector's Paradigm**. A study of the spatial and functional nature of modernist housing in Northeast Brazil. (1999). 419 f. Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy. The Bartlet School of Graduate Studies. University College of London, 1999.

BANGALEE, M.Z.I.; LIN, S.Y.; MIAU, J.J. Wind driven natural ventilation through multiple windows of a building: A computational approach. **Energy and Buildings**, v. 45, p. 317-325, 2012.

BARBETTA, Pedro Alberto. **Estatística aplicada às ciências sociais**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2007.

BECK; TURKIENICZ. Visibility and Permeability. Complementary Syntactical Attributes of Wayfinding. **7th International Space Syntax Symposium**, 2009.

BURBERRY, Peter; ALDER-WILLIAMS, Arthur. **Ahorro de energía**. Madrid: Hermann Blume Ediciones, 1983.

BRAGA, Nathalia; SABOYA, Renato de. Analyzing the mutual influences between spatial distribution and thermal performance of tropical contemporary Brazilian dwellings. **International Seminar on Urban Form (EEAE/ISUF)**, 2012.

CASTRO, Renata Torres Sarmiento de; TOLEDO, Alexandre Márcio. Avaliação qualitativa de ventilação natural de uma casa localizada na cidade Maceió/AL. **Encac/Elacac**: Búzios, 2011.

DEPECKER; MENEZO; VIRGONE; LEPERS. Design of buildings shape and energetic consumption. **Building and Environment**, n. 36, p. 627-635, 2001.

DOE. United States Department of Energy. Disponível em: <http://www.energy.gov/>. Acesso em: novembro 2012.

ELETROBÁS/PROCEL. **RTQ-C** - Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, 2010.

ELETROBRÁS/PROCEL. **Manual de aplicação do RTQ-R** (Versão em desenvolvimento), 2011.

ENERGYPLUS. **Input Output Reference** – The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output. University of Illinois and Ernest Orlando Lawrence Berkley National Laboratory, 2012.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GIVONI, Baruch. *Climate Considerations in Building and Urban Design*. John Wiley & Sons, Inc. 1998.

GOULART, Solange; LAMBERTS, Roberto; FIRMINO, Samanta. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. 2 ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.

HANSON, Julianne. **Decoding Homes and Houses**. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

HILLIER; TURNER; YOUNG; PARK. Metric And Topo-Geometric Properties Of Urban Street Networks. Some convergences, divergences and new results. **The Journal of Space Syntax**, v. 1, p. 258-279, 2010.

HILLIER, Bill. **Space is the machine**. London, Space Syntax, 2007.

HILLIER, Bill; HANSON, Julianne. **The Social Logic of Space**. Cambridge University Press. 1984.

HILLIER; HANSON; GRAHAM. Ideas are in things: an application of space syntax method to discovering house genotypes. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 14, p. 363-385, 1987.

HILLIER; PENN; HANSON, GRAJEWSKI, XU, J. Natural Movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 20, p. 29-66, 1993.

HOLANDA, Armando de. **Roteiro para construir no Nordeste**. Arquitetura como lugar ameno nos trópicos ensolarados. Recife: UFPE, 2010.

HOLANDA, Fred de. **O Espaço de Exceção**. Brasília, 1998.

HOLANDA, Fred de. **Arquitetura Sociológica**. 2006.

HOLANDA, Frederico de (Org.). **Arquitetura & Urbanidade**. Brasília: FRBH Edições, 2011.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Pesquisa de Orçamentos Familiares, 2008-2009**. Antropometria e estado nutricional de crianças, adolescentes e adultos no Brasil. Rio de Janeiro, 2010.

KOCH, Daniel.
Architectural Disjunctions. Morphological identity and syntactic contrasts of visibility and permeability. **8th International Space Syntax Symposium**, 2012.

LABEEE/UFSC. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Disponível em: < <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>>. Acesso em: Maio de 2013.

LABEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações). **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas** (v.4). Florianópolis, 2010.

LAMBERTS, R. *et al.* **Eficiência Energética na Arquitetura**. PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia -ELETROBRAS), 1997.
LOURA, Rejage Magiag; ASSIS, Eleonora Sad de; BASTOS, Leopoldo E. G. Análise comparativa entre resultados de desempenho térmico de envoltórias de edifício residencial gerados por diferentes normas brasileiras. **Encac/Elacac**: Búzios, 2011.

MARTIN, Leslie. Architect's approach to architecture. **RIBA J May**: p. 191-200, 1967.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. C. Uso de Instrumentos Computacionais Para Análise do Desempenho Térmico e Energético de Edificações no Brasil.: V.5. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v.5, n.4, p.47-68, out./dez. 2005.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **BEN - Balanço Energético Nacional**. Relatório final. Ano base 2011. Rio de Janeiro: EPE. 2012.

MONTEIRO, Circe. Activity analysis in houses of Recife, Brazil. **1st International Space Syntax Symposium**, 1997.

BRAVO, Gaudy; GONZALEZ, Eduardo. Confort térmico en el tópic húmedo: experiencias de campo en viviendas naturalmente ventiladas. **Ambiente Construído**, v. 3, n. 2, p. 47-55, 2003.

NREL (National Renewable Energy Laboratory). **NREL/TP-550-30152**. International Energy Agency Building Energy Simulation Test and Diagnostic Method for Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Equipment Models (HVAC BESTEST). Volume 1: Cases E100–E200. 2002.

PEDRINI, A. **Integration of low energy strategies to the early stages of design process of office buildings in warm climate**. (2003). 300 f. Tese de doutorado (Ph.D.) - Department of Architecture, University of Queensland, Brisbane, 2003. Disponível em: <Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/PhD-AldomarPedrini.pdf>>. Acesso: Acesso em: 28 fev. 2006, 4:00:00.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NATAL. Secretaria Municipal do Meio Ambiente e Urbanismo. **Instrumentos do Ordenamento Urbano de Natal**. Natal, Departamento de Informação, Pesquisa e Estatística, 2009.

LENGEN, Johan Van. **Manual do Arquiteto Descalço**. São Paulo: Editora Empório do Livro, 2008.

OLGYAY, Victor. **Arquitectura y clima**. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Princeton University Press. 1963. 5ª ed, 2008.

SABOYA, Renato Tibiriçá de. **Centralidade Espacial** - Uma nova operacionalização do modelo baseada em um Sistema de Informações Geográficas. 2001. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional). Porto Alegre: UFRGS, 2001.

SORGATO, Marcio José. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. 2009. 216 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFSC, Florianópolis, 2009.

SOUSA, Joana. Energy Simulation Software for Buildings: Review and Comparison. **CEUR. Workshop proceedings**, v. 923, p. 57-68, 2012.

SRIVASTAV; JONES. Use of traditional passive strategies to reduce the energy use and carbon emissions in modern dwellings. **International Journal of Low-Carbon Technologies**. n. 4, p. 141-149, 2009.

STEADMAN, Philip. How day-lighting constrains access. **4th International Space Syntax Symposium**, 2003.

TANIGUCHI, et al. View and viewed analysis. **8th International Space Syntax Symposium**, 2012.

TURNER, A. "Depthmap 4 | A Researcher's Handbook", Bartlett School of Graduate Studies, UCL, London, 2004.

TURNER; DOXA; O'SULLIVAN; PENN. From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 28, p. 103-121, 2001.

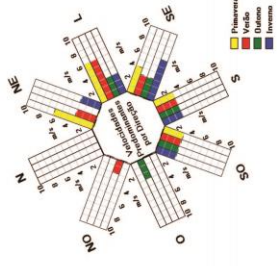
VAUGHAN, Laura. The Spatial Syntax of Urban Segregation. **Progress in planning**, v. 67, 2007.

VERSAGE, Rogério de Souza. **Ventilação natural e desempenho térmico de edifícios verticais multifamiliares em Campo Grande, MS**. 2009. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFSC, Florianópolis, 2009.

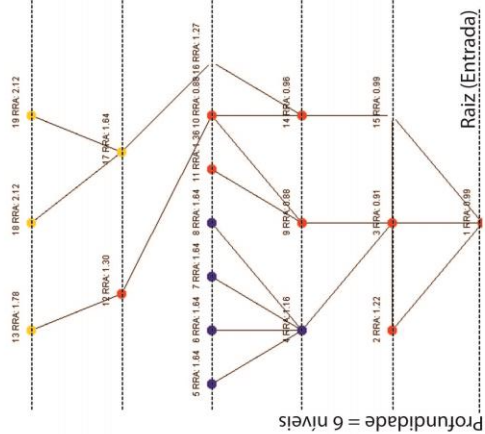
WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. Building Simulation Calibration Using Sensitivity Analysis. IBPSA. **Building Simulation**. Montreal, 2005.

7. APÊNDICE A – Fichas por modelo simulado

Casa 01-1



b) Grafo justificado



Índice de fechamento
0.2

Índice de funcionalidade
0.53

PAft (%)
9.6

Integração/permeabilidade Média (VGA)

ZS = 6.3
ZI = 4.36 > M = 4.36

Integração/visibilidade Média (VGA)

ZS = 7.0
ZI = 4.50 > M = 5.75

Conectividade Média (VGA)

ZS = 447.07
ZI = 167.6 > M = 307.34

Média anual de trocas de ar (ach)

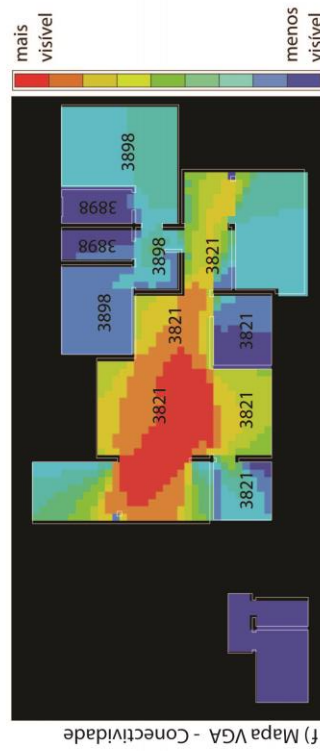
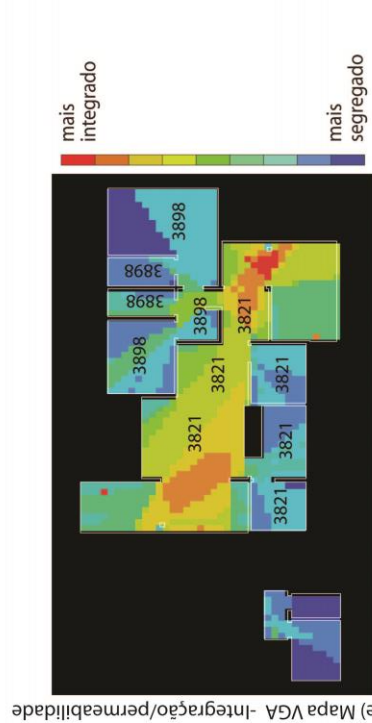
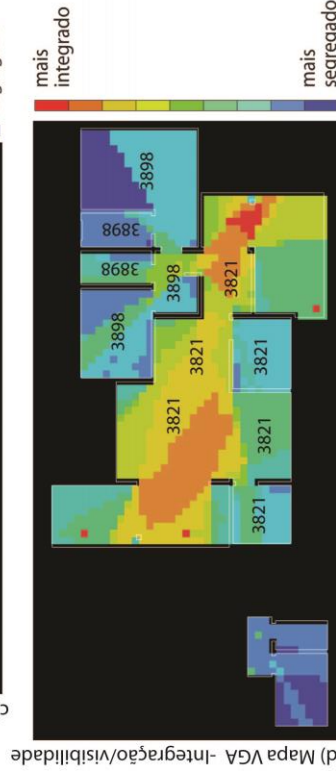
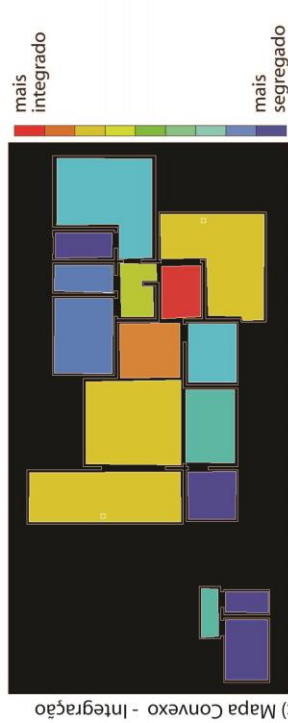
ZS = 18.43
ZI = 27.16 > M = 22.8

Graus-hora > 26°C (janelas abertas)

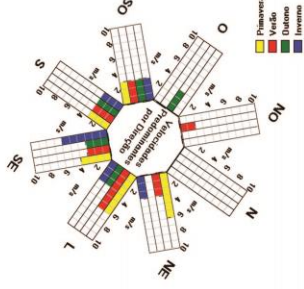
ZS = 3821 > M = 3860
ZI = 3898 > M = 3423

Graus-hora > 26°C (janelas fechadas)

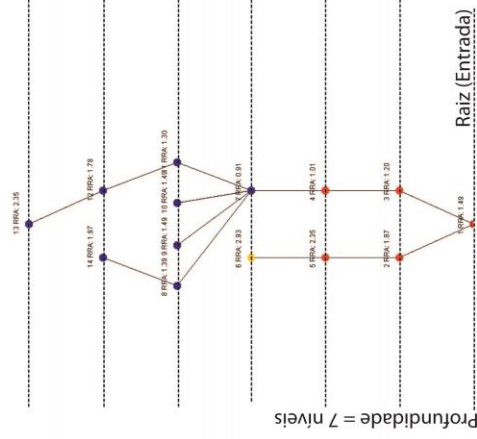
ZS = 3379 > M = 3466
ZI = 3423



Casa 02-2



b) Grafo justificado



Índice de fechamento

0.31

Índice de funcionalidade

0.70

PAFt (%)

7.5

Integração/permeabilidade Média (VGA)

ZS = 5.73

ZI01 = 4.38 > M = 4.58

ZI02 = 3.64

Integração/visibilidade Média (VGA)

ZS = 7.1

ZI01 = 4.94 > M = 5.41

ZI02 = 4.2

Conectividade Média (VGA)

ZS = 438.14

ZI01 = 145.4 > M = 265.27

ZI02 = 212.38

Média anual de trocas de ar (ach)

ZS = 15.93

ZI01 = 7.26 > M = 16.77

ZI02 = 27.13

Graus-hora > 26°C

(janelas abertas)

ZS = 3714

ZI01 = 3474 > M = 4344

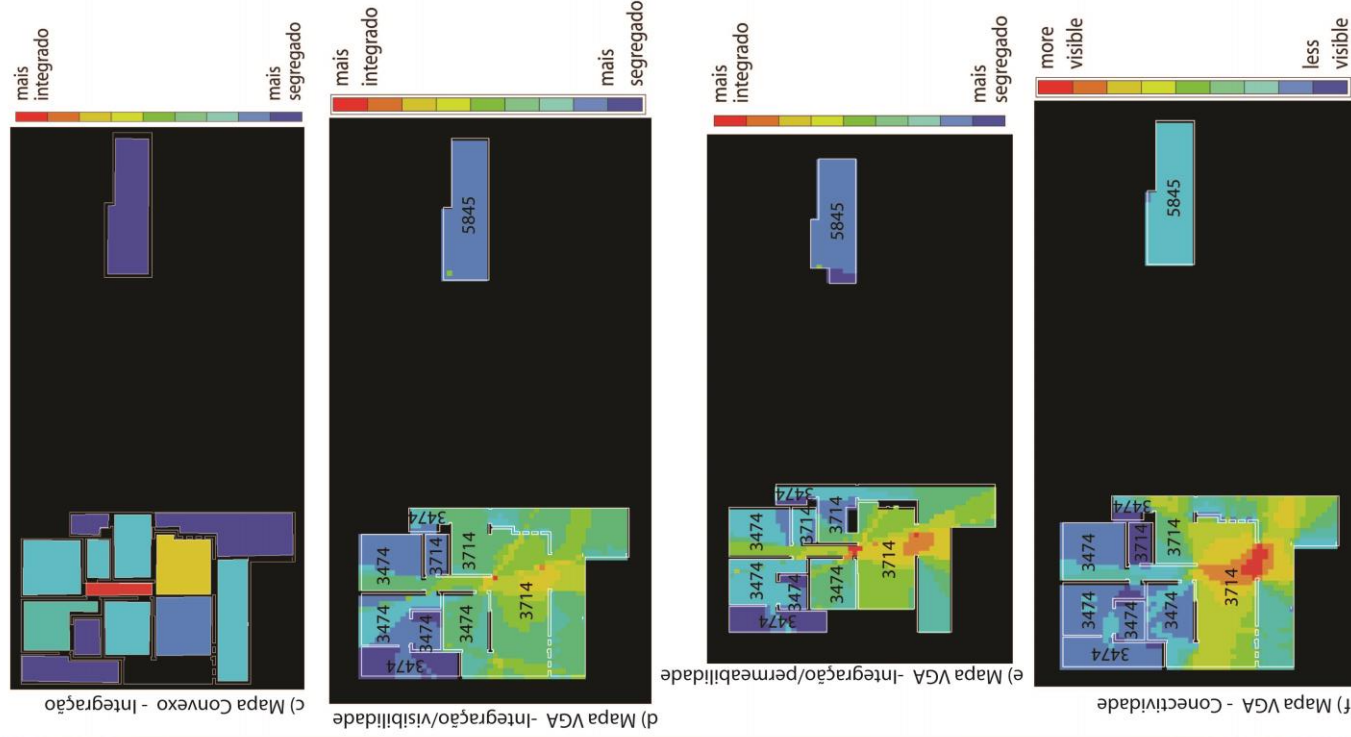
ZI02 = 5845

Graus-hora > 26°C (janelas fechadas)

ZS = 1939

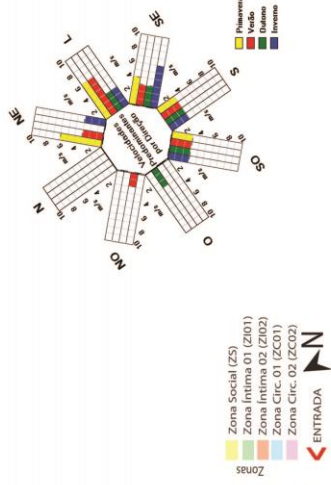
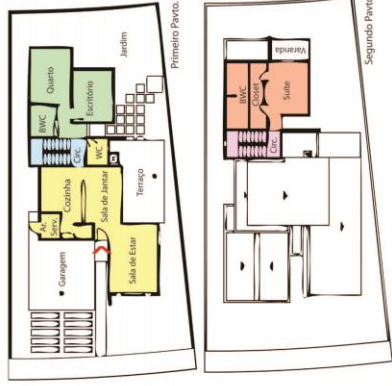
ZI01 = 1861 > M = 2924

ZI02 = 4972

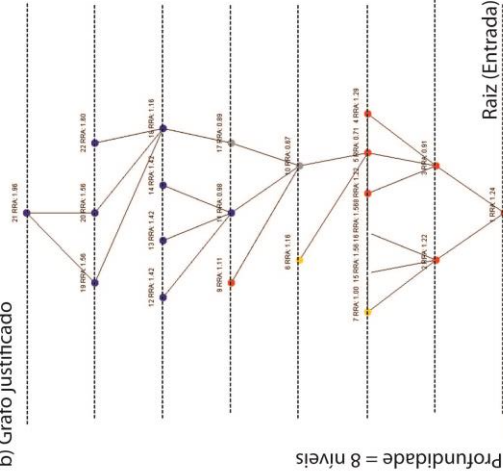


Casa 03-2

a) Planta Baixa



b) Grafo justificado



Índice de fechamento

0.25

Índice de funcionalidade

0.45

PAFt (%)

7.5

Integração/permeabilidade Média (VGA)

ZS = 6.62

ZI01 = 4.87

ZI02 = 3.8

ZC01 = 7.93

ZC02 = 4.89

> M = 4.3

Integração/visibilidade Média (VGA)

ZS = 7.94

ZI01 = 5.67

ZI02 = 4.15

ZC01 = 8.28

ZC02 = 5.31

> M = 5.62

Conectividade Média (VGA)

ZS = 553.58

ZI01 = 175.81

ZI02 = 170.0

ZC01 = 376.7

ZC02 = 127.9

> M = 280.8

Média anual de trocas de ar (ach)

ZS = 18.62

ZI01 = 20.0

ZI02 = 19.22

ZC01 = 1.96

ZC02 = 1.96

> M = 16.77

Graus-hora > 26°C

(janelas abertas)

ZS = 3857

ZI01 = 3806

ZI02 = 5735

ZC01 = 4626

ZC02 = 4626

Graus-hora > 26°C

(janelas fechadas)

ZS = 2362

ZI01 = 2041

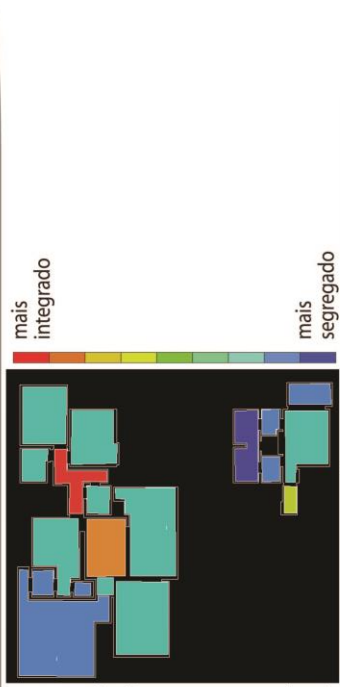
ZI02 = 4516

ZC01 = 2931

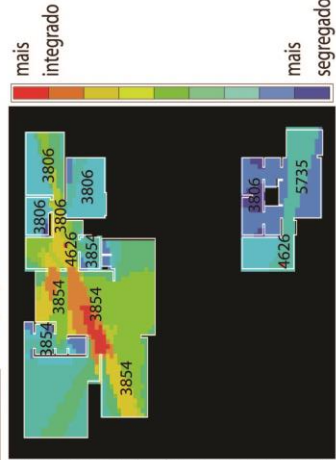
ZC02 = 2931

> M = 2956

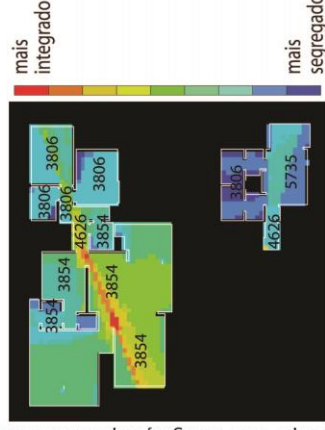
c) Mapa Convexo - Integração



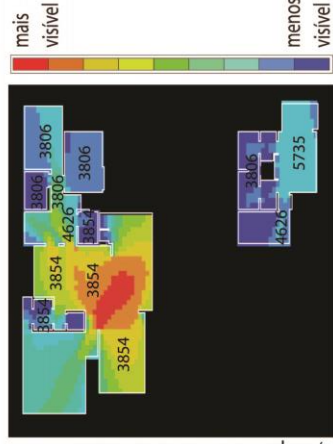
d) Mapa VGA - Integração/visibilidade



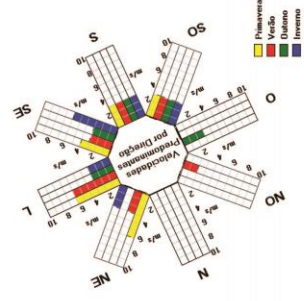
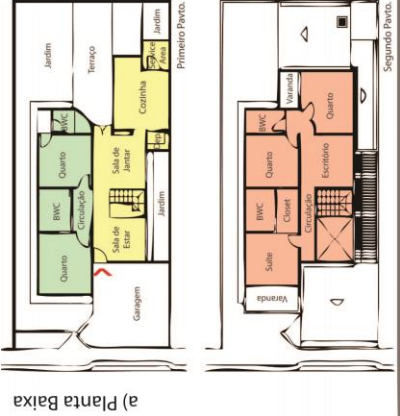
e) Mapa VGA - Integração/permeabilidade



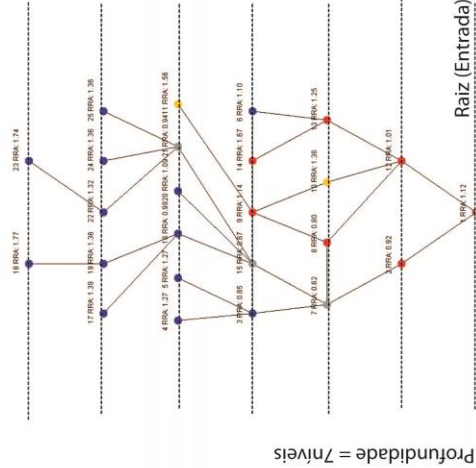
f) Mapa VGA - Conectividade



Casa 04-2



b) Grafo justificado



Índice de fechamento

0.19

Índice de funcionalidade

0.6

PAFt (%)

7.9

Integração/permeabilidade Média (VGA)

ZS = 5.59

ZI01 = 4.85

ZI02 = 4.0

> M = 4.81

Integração/visibilidade Média (VGA)

ZS = 7.15

ZI01 = 5.09

ZI02 = 4.84

> M = 5.69

Conectividade Média (VGA)

ZS = 451.7

ZI01 = 178.18

ZI02 = 215.87

> M = 282.0

Média anual de trocas de ar (ach)

ZS = 33.03

ZI01 = 34.7

ZI02 = 20.94

> M = 29.56

Graus-hora>26°C

(janelas abertas)

ZS = 4127

ZI01 = 4267

ZI02 = 5815

> M = 4703

ZI01 = 3844

ZI02 = 6026

> M = 4621

Graus-hora>26°C

(janelas fechadas)

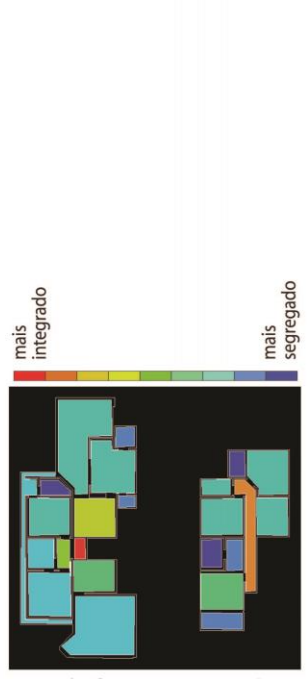
ZS = 3994

ZI01 = 3844

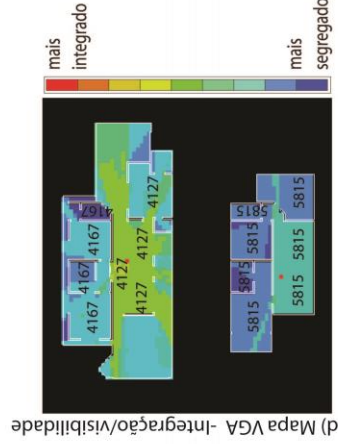
ZI02 = 6026

> M = 4621

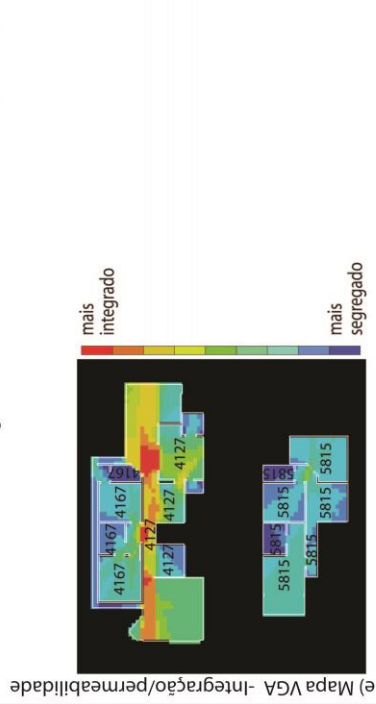
c) Mapa Convexo - Integração



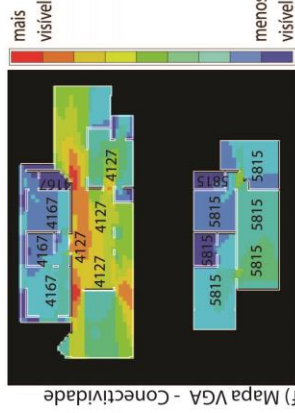
d) Mapa VGA - Integração/visibilidade

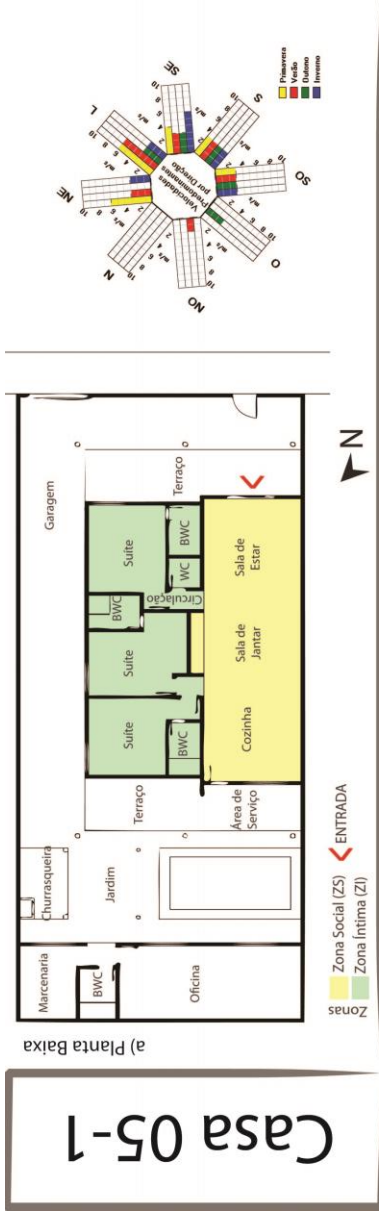


e) Mapa VGA - Integração/permeabilidade



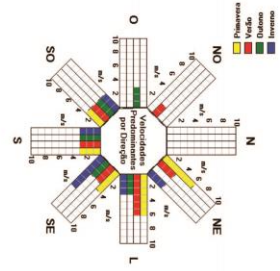
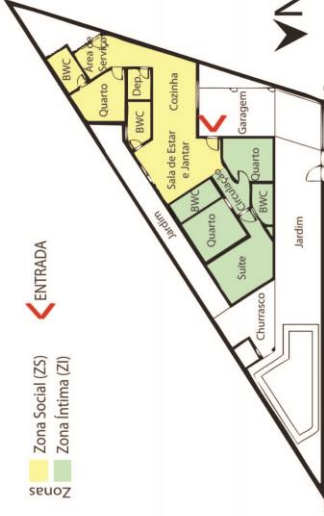
f) Mapa VGA - Conectividade



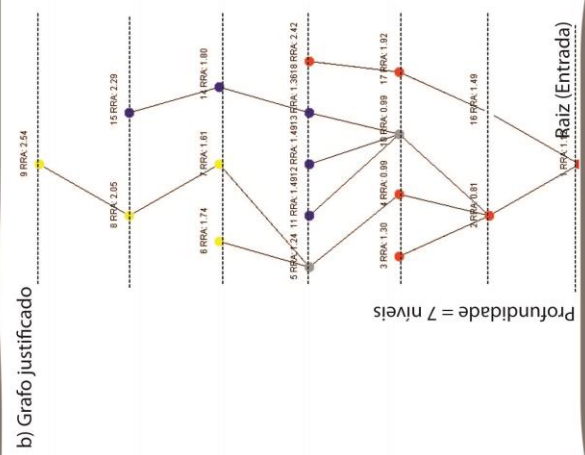


Casa 06-1

a) Planta Baixa



b) Grafo justificado



Índice de fechamento
0.35

Índice de funcionalidade
0.80

PAFt (%)
10.1

Integração/permeabilidade Média (VGA)

ZS = 5.47 > M = 4.95
ZI = 4.43

Integração/visibilidade Média (VGA)

ZS = 7.16 > M = 6.0
ZI = 4.83

Conectividade Média (VGA)

ZS = 361.24
ZI = 153.97 > M = 257.6

Média anual de trocas de ar (ach)

ZS = 27.83 > M = 23.17
ZI = 18.5

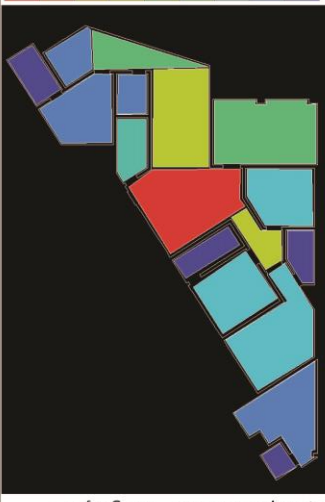
Graus-hora > 26°C (janelas abertas)

ZS = 3911 > M = 3884 > M = 3459
ZI = 3857

Graus-hora > 26°C (janelas fechadas)

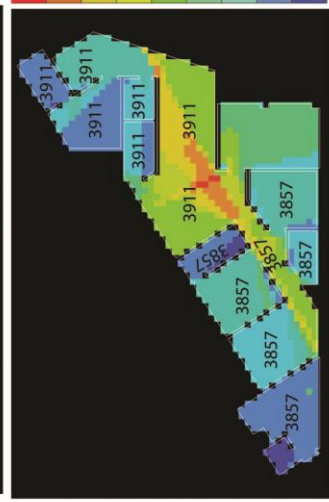
ZS = 3424 > M = 3459
ZI = 3494

mais integrado



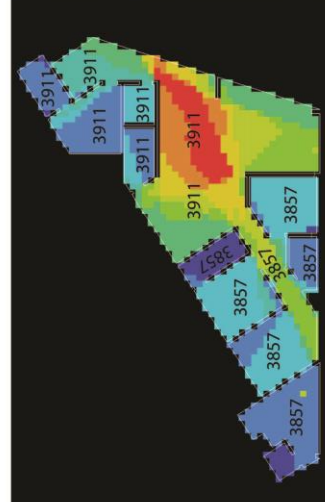
mais segregado

mais integrado



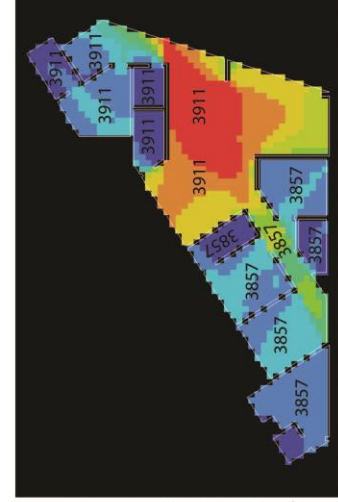
mais segregado

mais integrado



mais segregado

mais visível



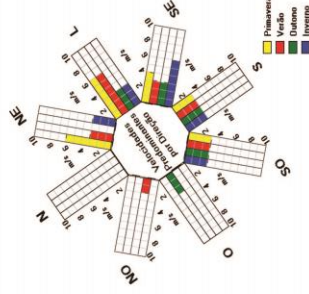
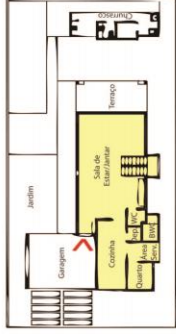
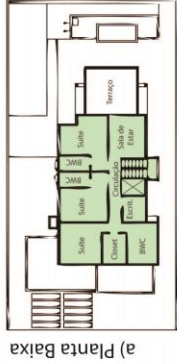
menos visível

d) Mapa VGA - Integração/visibilidade

e) Mapa VGA - Integração/permeabilidade

f) Mapa VGA - Conectividade

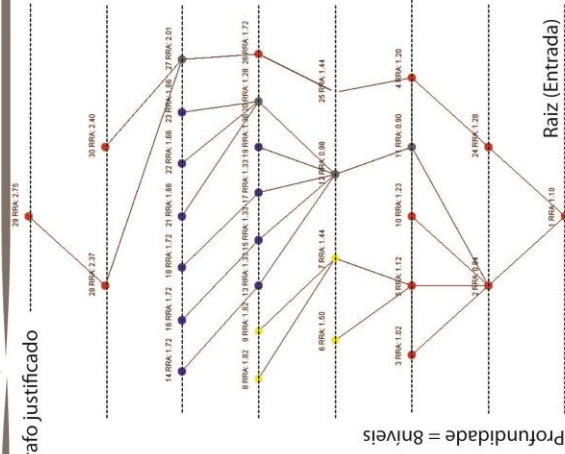
Casa 07-2



Zonas
Zona Social (ZS)
Zona Íntima (ZI)

ENTRADA

b) Grafo justificado



Índice de fechamento

0.18

Índice de funcionalidade

1.25

PAFt (%)

10.9

Integração/permeabilidade Média (VGA)

ZS = 7.12

ZI = 4.87

> M = 6.0

Integração/visibilidade Média (VGA)

ZS = 6.96

ZI = 4.83

> M = 6.0

Conectividade Média (VGA)

ZS = 732.87

ZI01 = 228.14

> M = 480.15

Média anual de trocas de ar (ach)

ZS = 15.79

ZI = 8.25

> M = 12.02

Graus-hora>26°C
(janelas abertas)

ZS = 3472

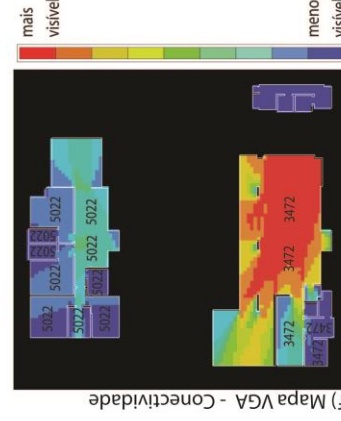
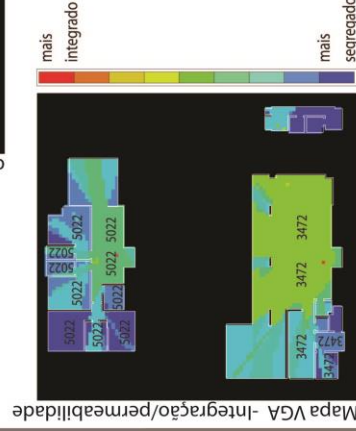
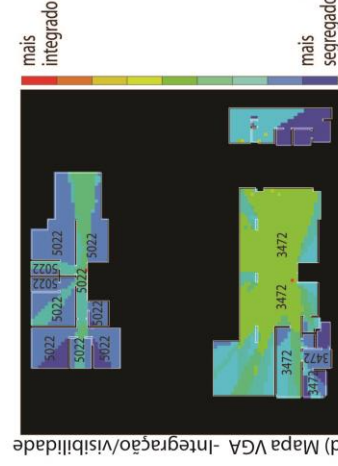
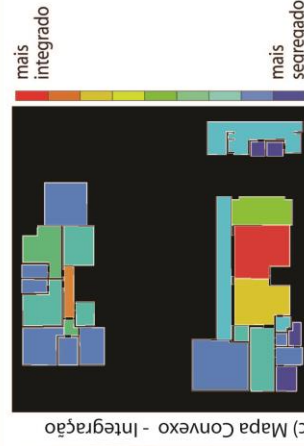
ZI = 5022

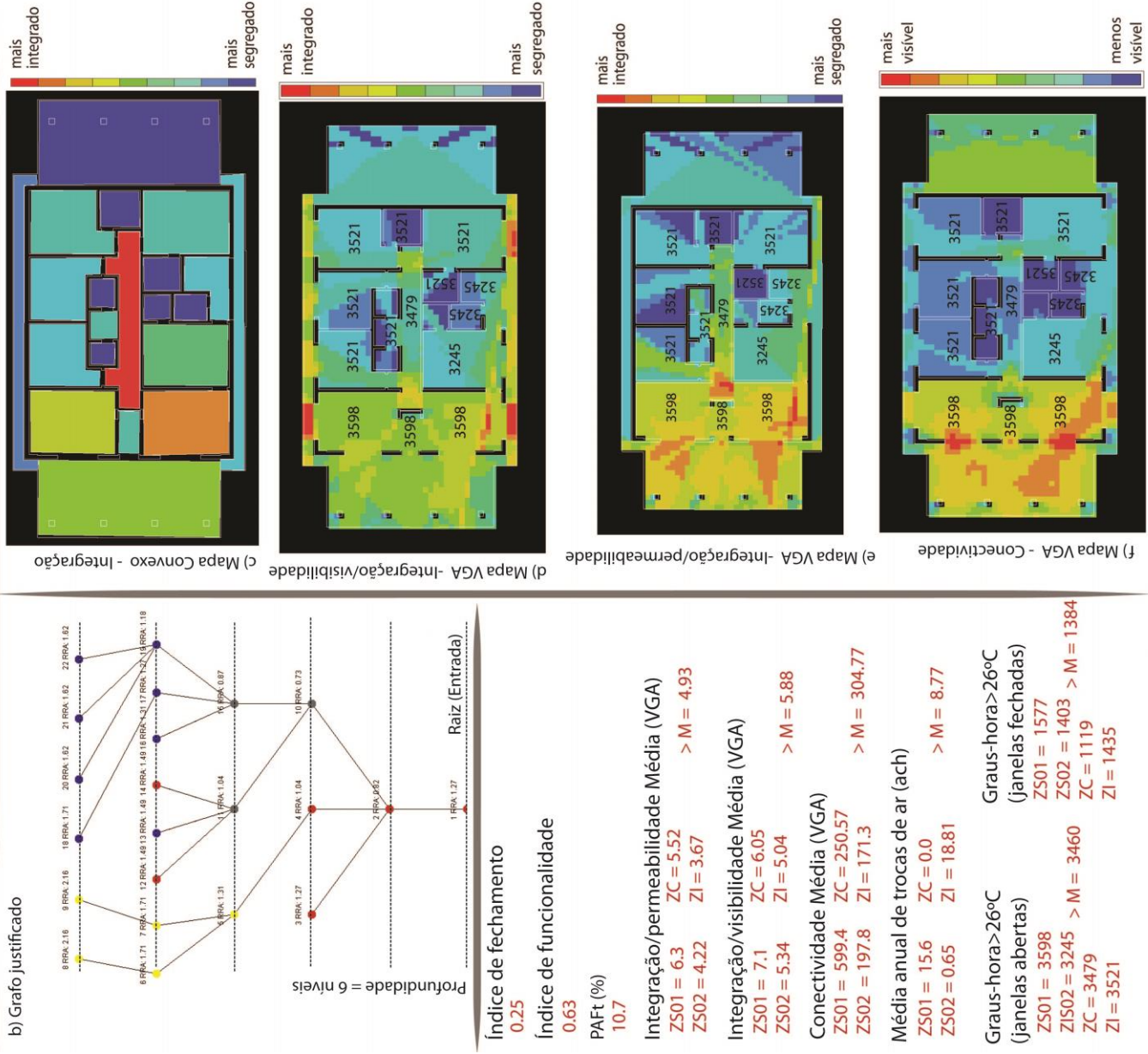
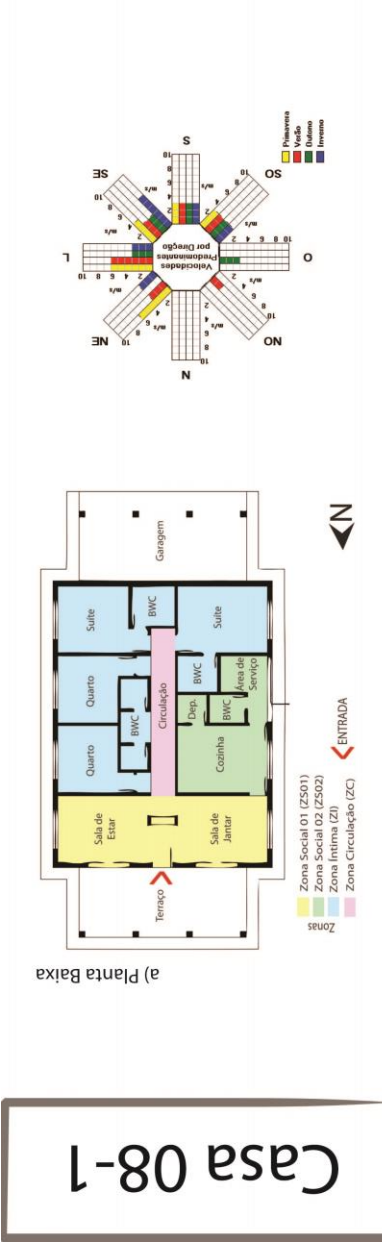
Graus-hora>26°C
(janelas fechadas)

ZS = 1739

ZI = 3802

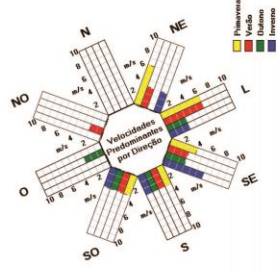
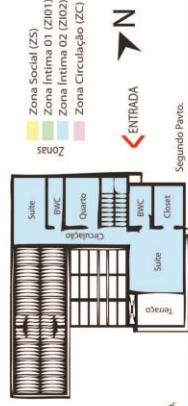
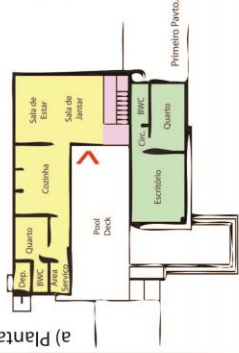
> M = 2770



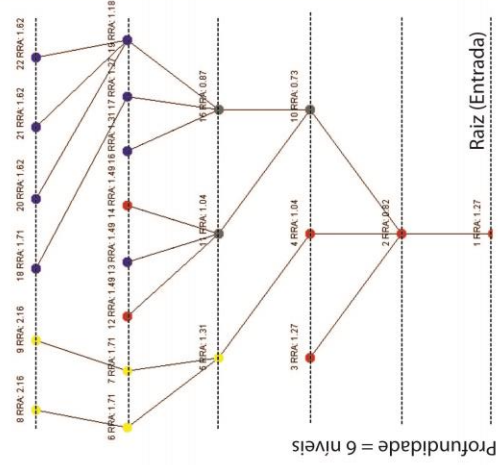


Casa 09-2

a) Planta Baixa



b) Grafo justificado



Índice de fechamento

0.21

Índice de funcionalidade

0.55

PAFt (%)

8.7

Integração/permeabilidade Média (VGA)

ZS = 8.18

ZC = 10.47

ZIO1 = 5.12

ZIO2 = 4.92

> M = 7.17

Integração/visibilidade Média (VGA)

ZS = 8.23

ZC = 10.47

ZIO1 = 5.1

ZIO2 = 4.92

> M = 7.18

Conectividade Média (VGA)

ZS = 815.73

ZC = 1019.52

ZIO1 = 204.41

ZIO2 = 224.1

> M = 565.94

Média anual de trocas de ar (ach)

ZS = 19.23

ZC = 12.46

ZIO1 = 4.51

ZIO2 = 13.85

> M = 12.51

Graus-hora > 26°C

(janelas abertas)

ZS01 = 2069

ZC = 3681

ZIO1 = 2818

ZIO2 = 5680

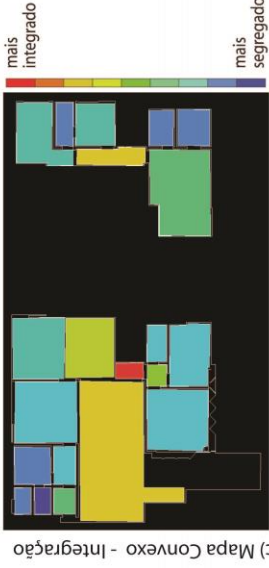
> M = 4010

ZS02 = 2223

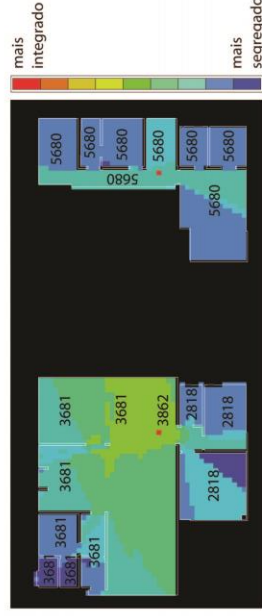
ZC = 1362

ZIO2 = 2613

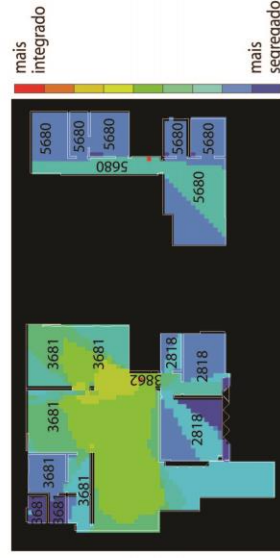
ZC = 4799



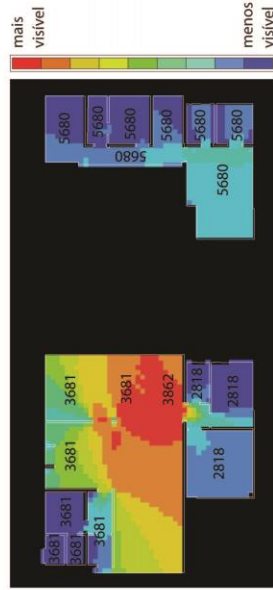
d) Mapa VGA - Integração/visibilidade



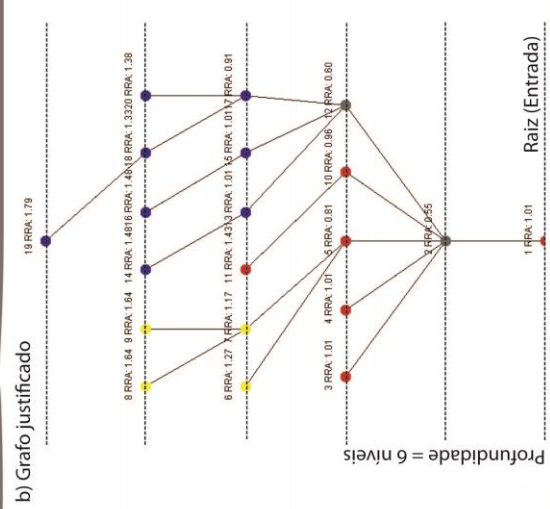
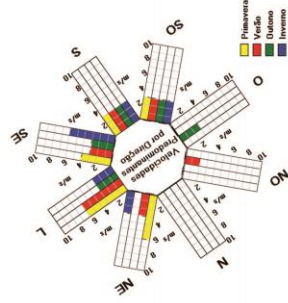
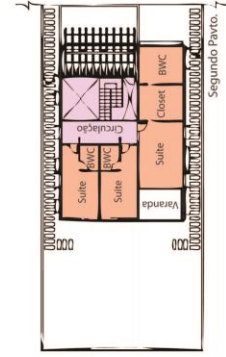
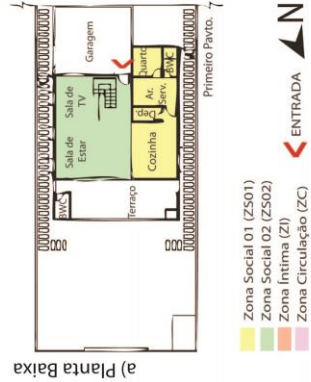
e) Mapa VGA - Integração/permeabilidade



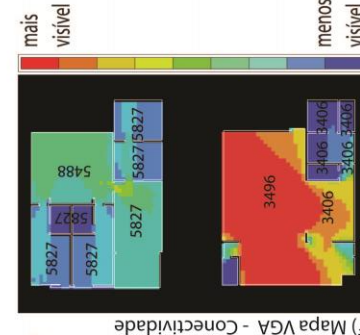
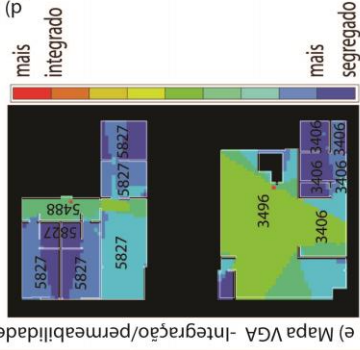
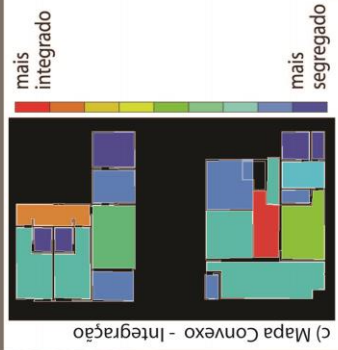
f) Mapa VGA - Conectividade



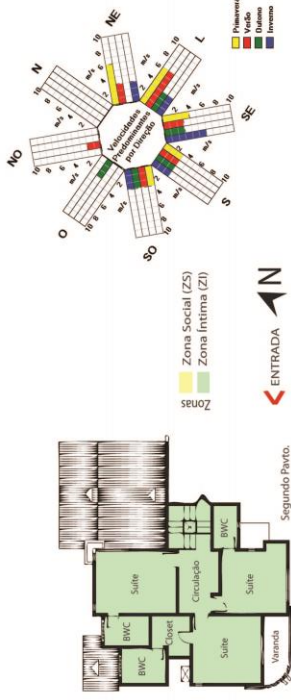
Casa 11-2



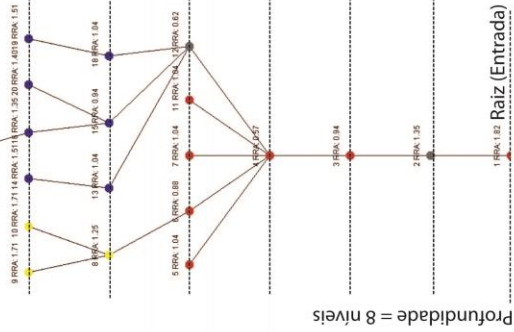
Índice de fechamento	0.25
Índice de funcionalidade	1.00
PAFt (%)	12.0
Integração/permeabilidade Média (VGA)	
ZS01 = 5.21	ZI = 4.23
ZS02 = 7.41	ZC = 6.7
	> M = 5.89
Integração/visibilidade Média (VGA)	
ZS01 = 5.28	ZI = 4.7
ZS02 = 8.0	ZC = 8.04
	> M = 6.5
Conectividade Média (VGA)	
ZS01 = 501.5	ZI = 273.41
ZS02 = 1096.45	ZC = 494.16
	> M = 591.38
Média anual de trocas de ar (ach)	
ZS01 = 8.37	ZI = 17.62
ZS02 = 25.6	ZC = 8.23
	> M = 15.96
Graus-hora > 26°C (janelas abertas)	
ZS01 = 3496	ZI = 2116
ZS02 = 3406	ZC = 2032
	> M = 3488
Graus-hora > 26°C (janelas fechadas)	
ZS01 = 5827	ZI = 5309
ZS02 = 5488	ZC = 4495



Casa 12-2



b) Grafo justificado



Índice de fechamento

0.28

Índice de funcionalidade

0.95

PAFt (%)

6.6

Integração/permeabilidade Média (VGA)

ZS = 5.96

ZI = 4.6

> M = 5.28

Integração/visibilidade Média (VGA)

ZS = 6.3

ZI = 4.71

> M = 5.51

Conectividade Média (VGA)

ZS = 357.4

ZI = 156.88

> M = 255.64

Média anual de trocas de ar (ach)

ZS = 8.68

ZI = 18.02

> M = 13.35

Graus-hora>26°C

(janelas abertas)

Graus-hora>26°C

(janelas fechadas)

ZS = 3834

> M = 4834

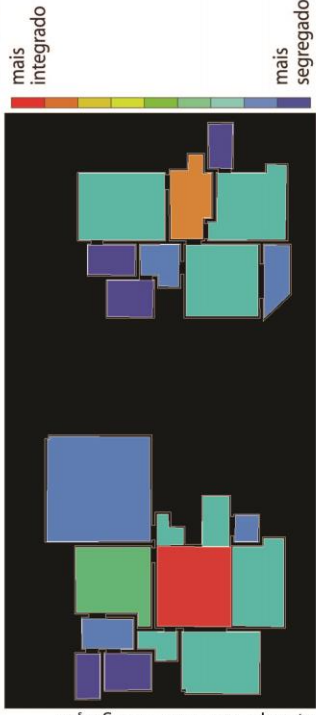
ZS = 2716

> M = 4052

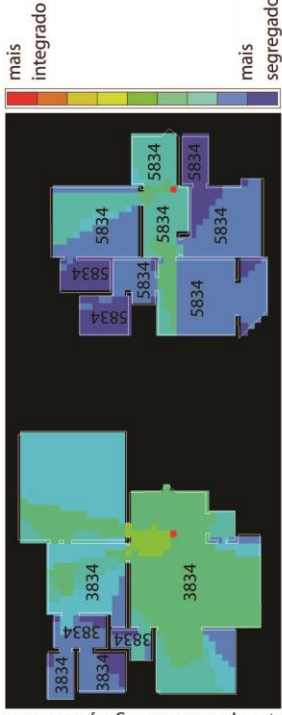
ZI = 5389

ZI = 5389

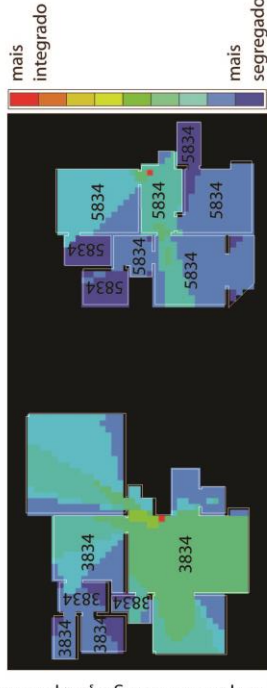
c) Mapa Convexo - Integração



d) Mapa VGA - Integração/visibilidade



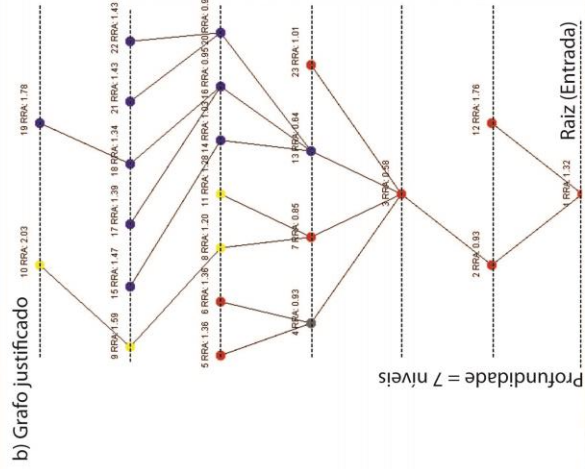
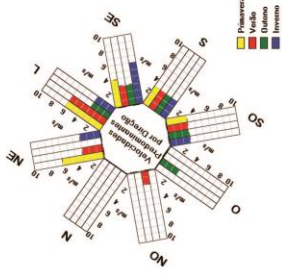
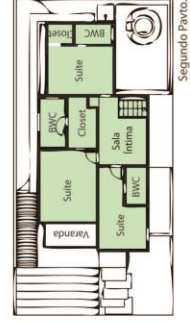
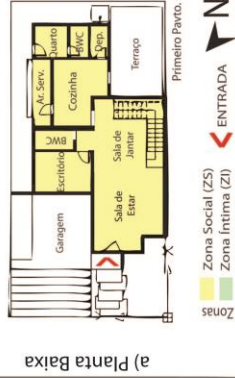
e) Mapa VGA - Integração/permeabilidade



f) Mapa VGA - Conectividade



Casa 13-2



Índice de fechamento

0.21

Índice de funcionalidade

1.15

PAFt (%)

8.6

Integração/permeabilidade Média (VGA)

ZS = 5.41

ZI = 4.65

> M = 5.03

Integração/visibilidade Média (VGA)

ZS = 7.17

ZI = 5.08

> M = 6.13

Conectividade Média (VGA)

ZS = 546.72

ZI = 199.58

> M = 373.15

Média anual de trocas de ar (ach)

ZS = 14.56

ZI = 16.49

> M = 15.5

Graus-hora > 26°C

(janelas abertas)

ZS = 3738

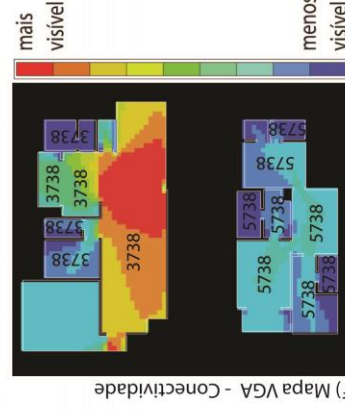
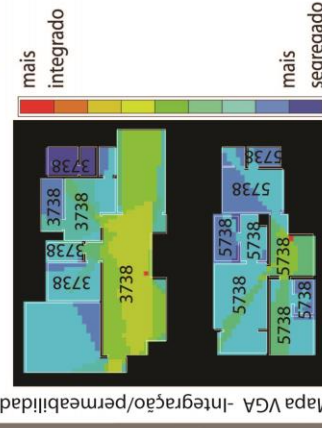
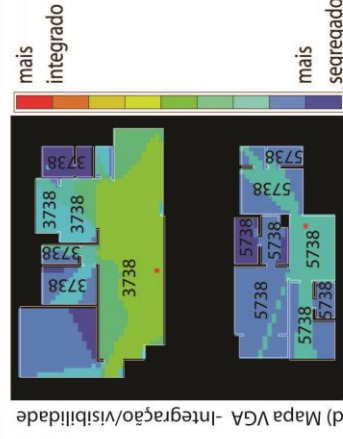
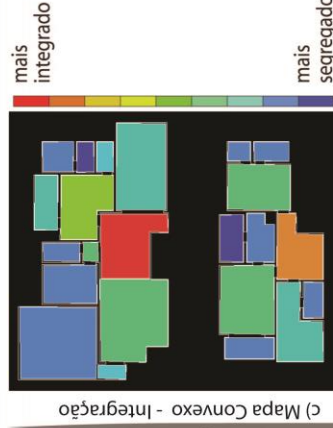
ZI = 5738

Graus-hora > 26°C

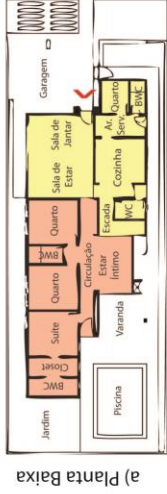
(janelas fechadas)

ZS = 2480

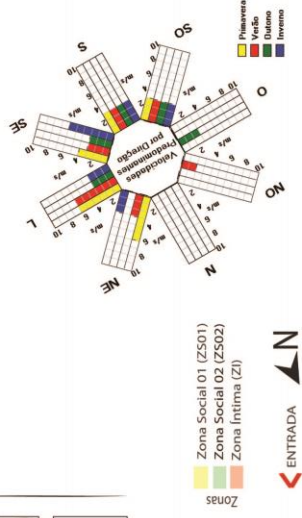
ZI = 5308



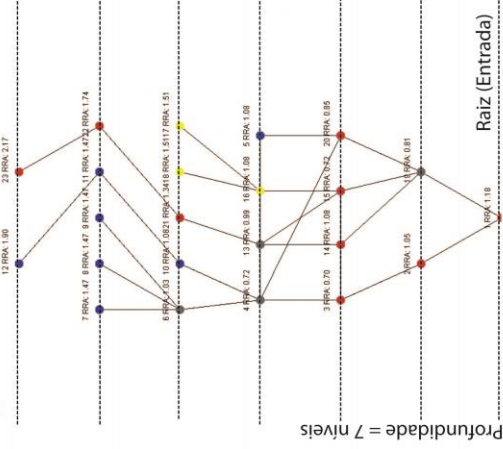
Casa 14-2



Segundo Pavto.



b) Grafo justificado



Índice de fechamento
0.17

Índice de funcionalidade
0.48

PAFt (%)
9.8

Integração/permeabilidade Média (VGA)
ZI = 5.66
ZS 02 = 3.85
ZS01 = 6.25
> M = 5.25

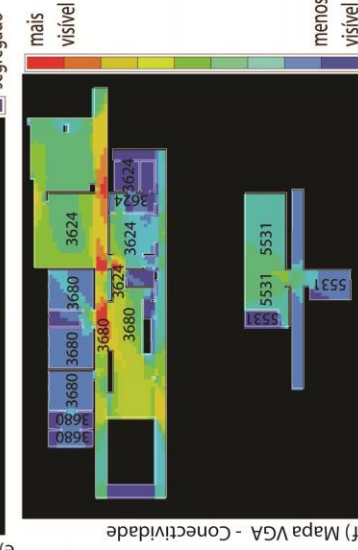
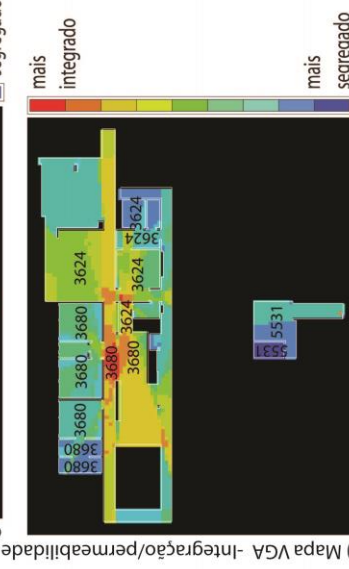
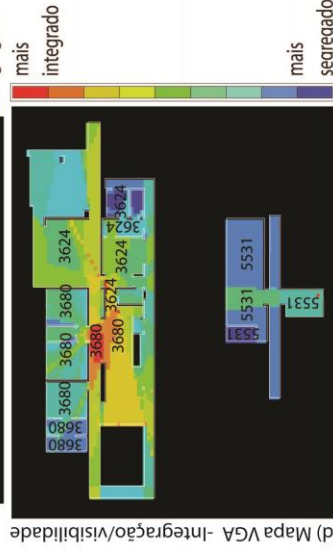
Integração/visibilidade Média (VGA)
ZI = 5.33
ZS02 = 3.91
ZS01 = 5.71
> M = 4.98

Conectividade Média (VGA)
ZI = 258.3
ZS 02 = 297.06
ZS01 = 374.38
> M = 185.13

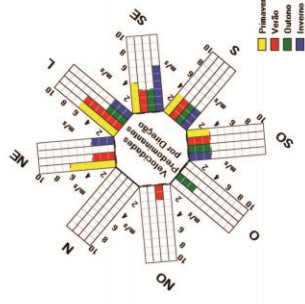
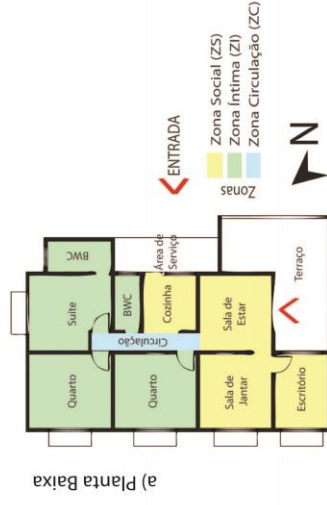
Média anual de trocas de ar (ach)
ZI = 8.17
ZS02 = 31.15
ZS01 = 5.73
> M = 15.01

Graus-hora>26°C
(janelas abertas)
ZI = 3680
ZS01 = 3624
ZS 02 = 5531
> M = 4278
> M = 2766

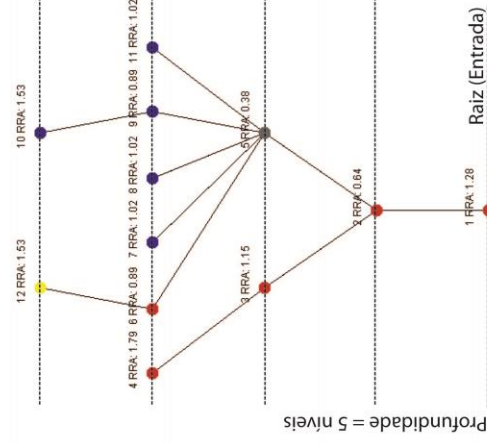
Graus-hora>26°C
(janelas fechadas)
ZI = 2035
ZS01 = 1901
ZS02 = 4363
> M = 2766



Casa 15-1



b) Grafo justificado



Índice de fechamento

0.35

Índice de funcionalidade

1.2

PAFt (%)

11.0

Integração/permeabilidade Média (VGA)

 $ZI = 4.84$ $ZC = 8.2$
$$ZS = 5.94$$

Integração/visibilidade Média (VGA)

$$Z_I = 5.03 \quad Z_C = 9.0$$
$$ZS = 6.84$$

Conectividade Média (VGA)

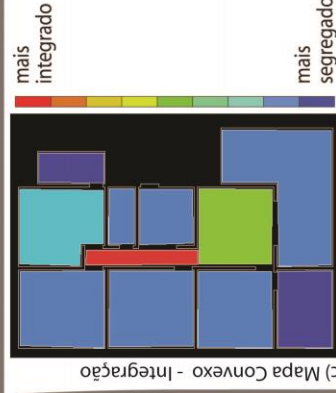
$$ZI = 153.48 \quad ZC = 255.45$$
 $ZS = 303.58$

Média anual de trocas de ar (ach)

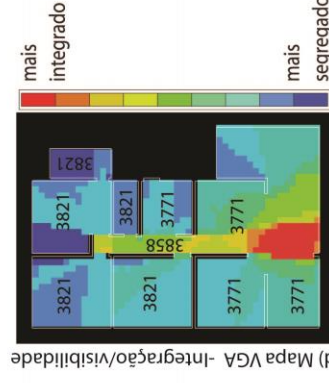
 $ZI = 18.59$ $ZC = 0.0$
$$ZS = 10.14$$

Graus-hora>26°C
(janelas abertas)

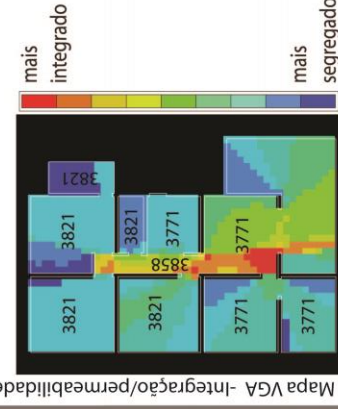
Year	ZI
1961	3821
1962	1961

$$ZS = 3771$$
 $ZC = 3858$ $ZC = 3858$
$$ZS = 3771 \quad > M = 3817 \quad ZS = 1957 \quad > M = 1857$$
$$ZC = 3858 \quad ZC = 1654$$
$$ZC = 3858$$


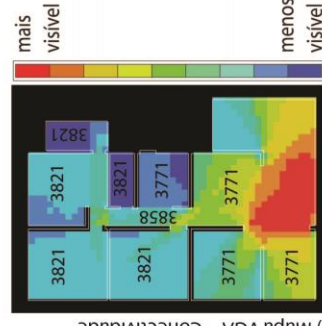
(c) Mapa Convexo - Integração



(d) Mapa VGA - Integração/visibilidade

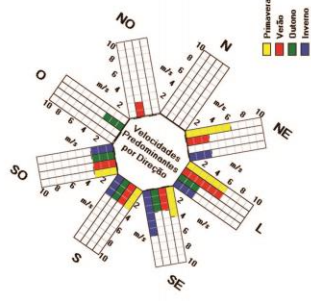
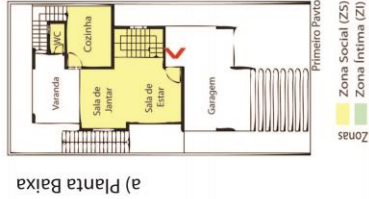


e) Mapa VGA - Integração/permeabilidade

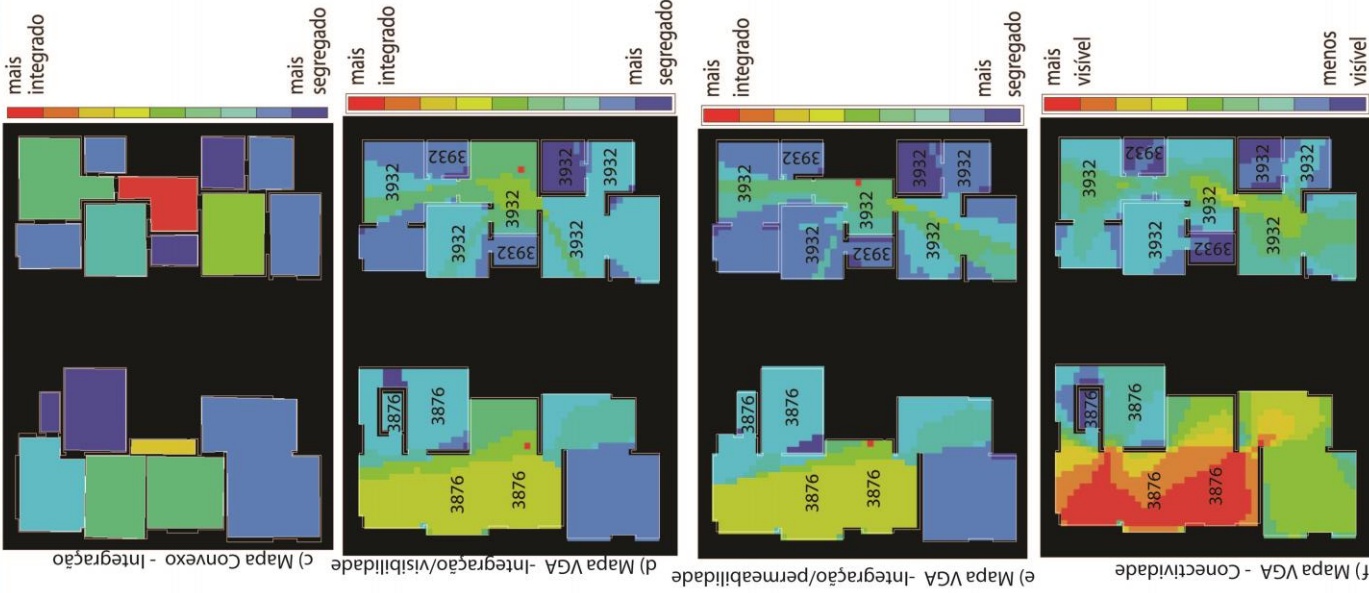
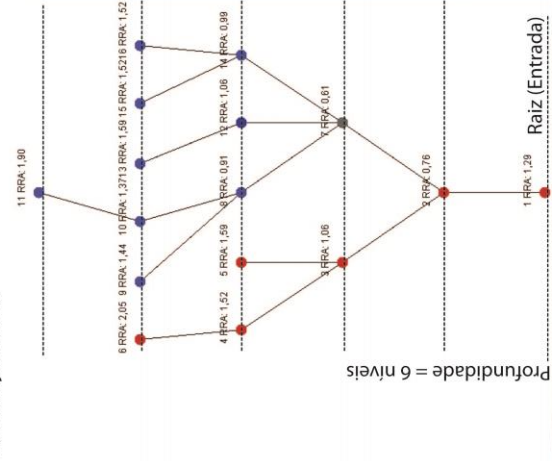


(f) Mapa VGA - Conectividade

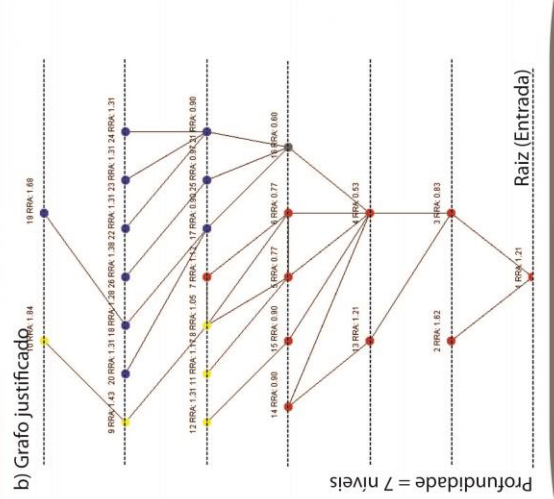
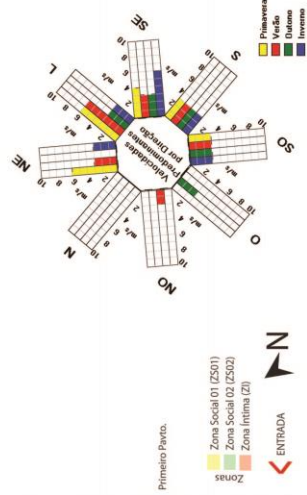
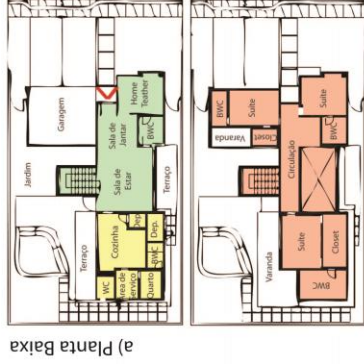
Casa 16-2



b) Grafo justificado



Casa 17-2



Índice de fechamento

0.18

Índice de funcionalidade

1.3

PAFt (%)

11.1

Integração/permeabilidade Média (VGA)

ZS01 = 4.75

ZI = 4.78

ZS02 = 6.46

> M = 5.33

> M = 5.68

> M = 5.68

> M = 5.68

> M = 5.68

> M = 5.68

> M = 5.68

> M = 5.68

> M = 5.68

> M = 5.68

> M = 5.68

> M = 5.68

> M = 5.68

> M = 5.68

> M = 5.68

> M = 5.68

> M = 5.68

> M = 5.68

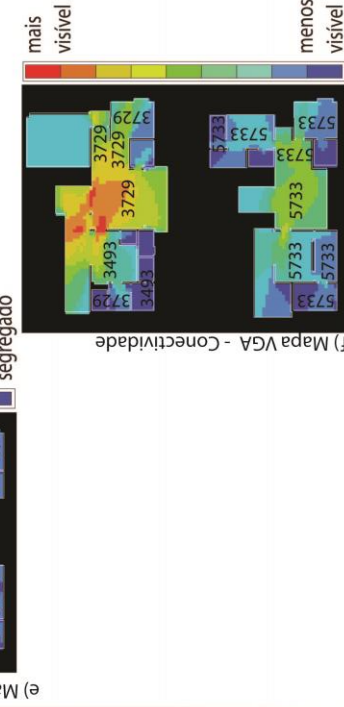
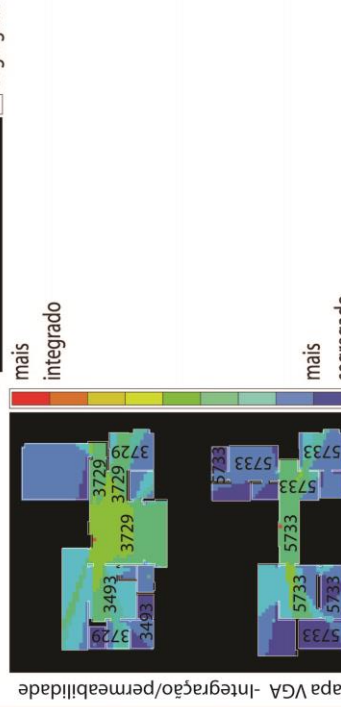
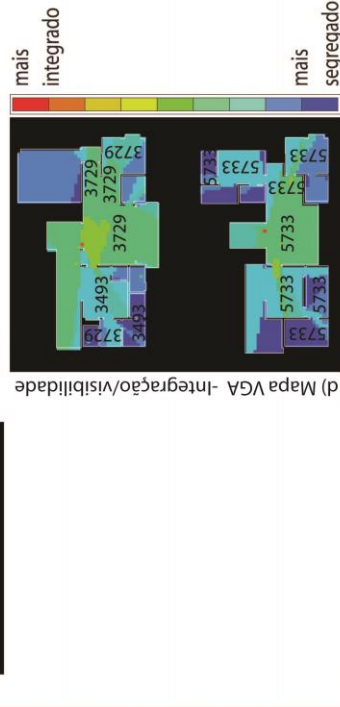
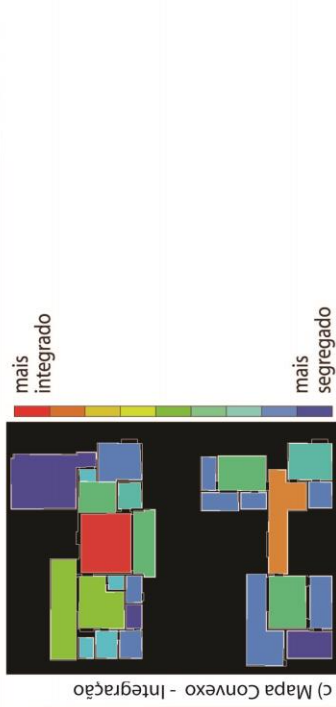
> M = 5.68

> M = 5.68

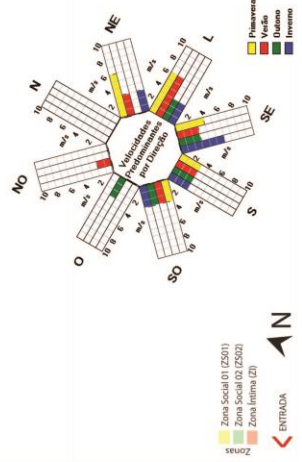
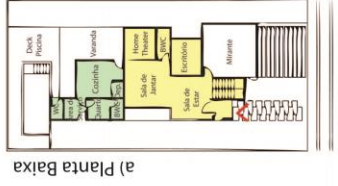
> M = 5.68

> M = 5.68

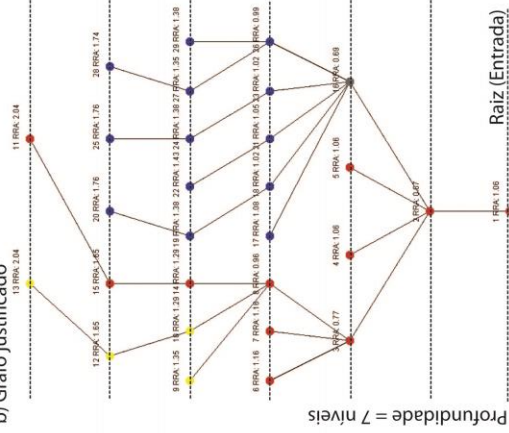
> M = 5.68



Casa 19-2



b) Grafo justificado



Índice de fechamento

0.16

Índice de funcionalidade

0.97

PAft (%)

11.2

Integração/permeabilidade Média (VGA)

ZS01 = 5.31

ZI = 3.95

ZS02 = 4.38

> M = 4.55

Integração/visibilidade Média (VGA)

ZS01 = 5.85

ZI = 4.5

ZS02 = 4.67

> M = 5.00

Conectividade Média (VGA)

ZS01 = 634.7

ZI = 239.0

ZS02 = 360.43

> M = 411.38

Média anual de trocas de ar (ach)

ZS01 = 14.07

ZI = 12.02

ZS02 = 22.83

> M = 16.3

Graus-hora>26°C

(janelas abertas)

ZS01 = 3718

ZS02 = 3780

> M = 4405

ZS02 = 2406

> M = 3341

ZI = 5718

Graus-hora>26°C

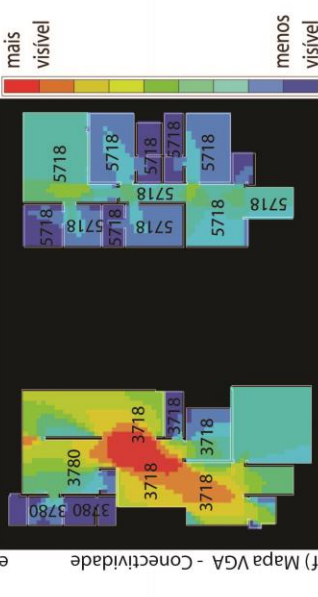
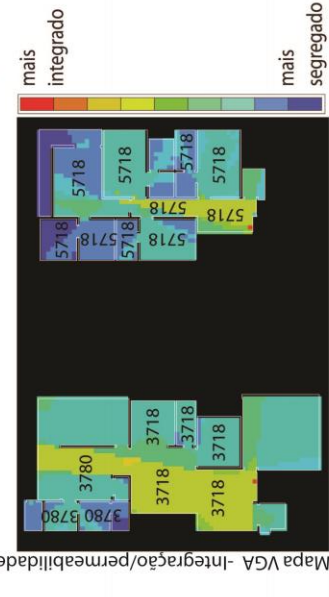
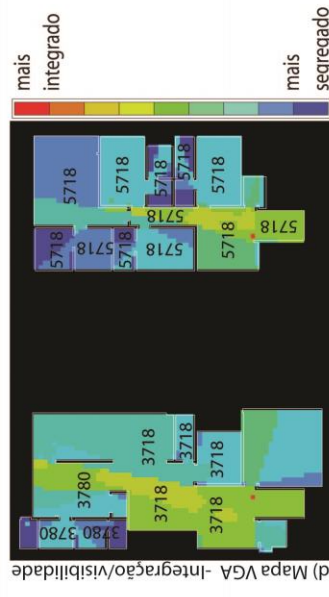
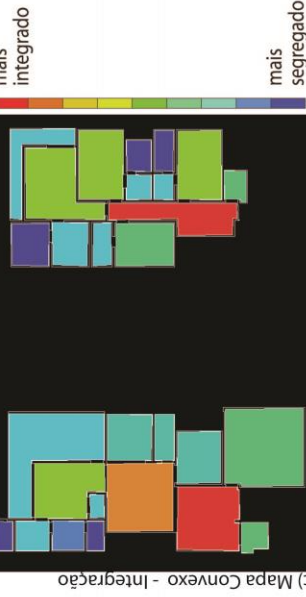
(janelas fechadas)

ZS01 = 2449

ZS02 = 2406

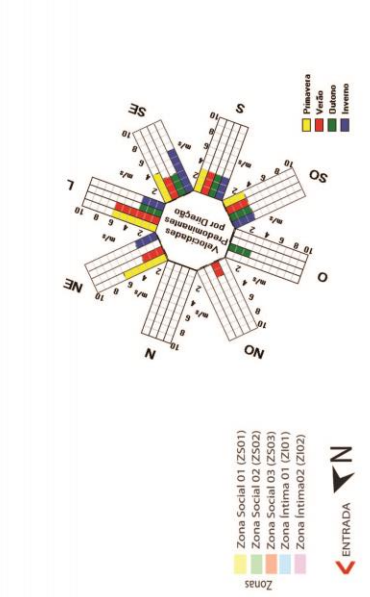
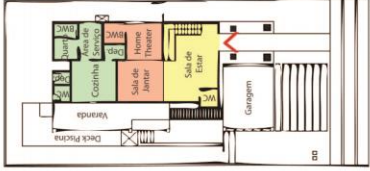
> M = 3341

ZI = 5168

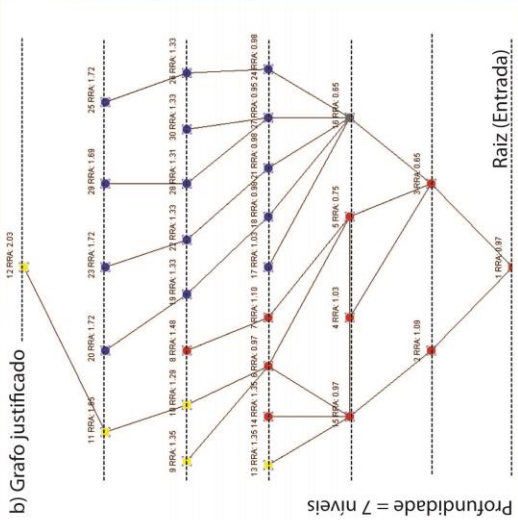


Casa 20-2

a) Planta Baixa



b) Grafo justificado



Índice de fechamento

0.16

Índice de funcionalidade

1.1

PAFt (%)

13.17

Integração/permeabilidade Média (VGA)

Z501 = 5.97

Z502 = 3.66

Z503 = 474

Z101 = 3.94

Z102 = 3.71

M = 4.38

Integração/visibilidade Média (VGA)

Z501 = 6.27

Z502 = 4.06

Z503 = 5.07

Z101 = 5.33

Z102 = 3.61

M = 4.87

Conectividade Média (VGA)

Z501 = 767.15

Z502 = 684.0

Z503 = 339.47

Z101 = 337.6

Z102 = 252.1

M = 476.06

Média anual de trocas de ar (ach)

Z501 = 9.51

Z502 = 14.71

Z503 = 15.88

Z101 = 0.45

Z102 = 11.2

M = 11.2

Graus-hora>26°C

(janelas abertas)

Z501 = 3352

Z502 = 3374

Z503 = 3232

Z101 = 5675

Z102 = 5821

M = 3387

Graus-hora>26°C

(janelas fechadas)

Z501 = 2280

Z502 = 1961

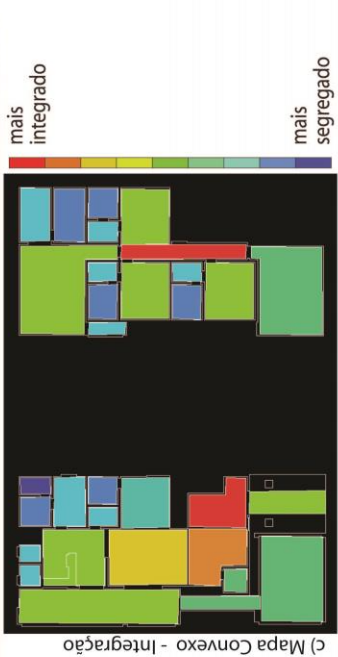
Z503 = 2009

Z101 = 5169

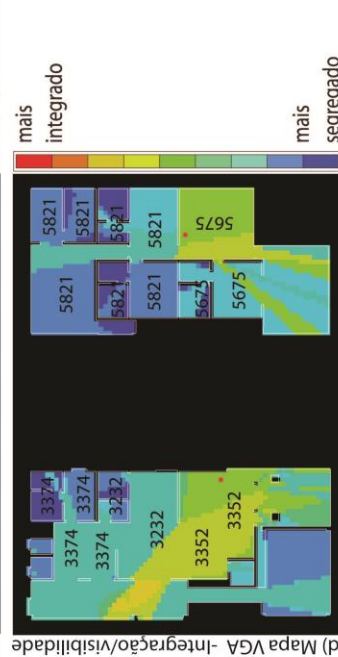
Z102 = 5516

M = 3387

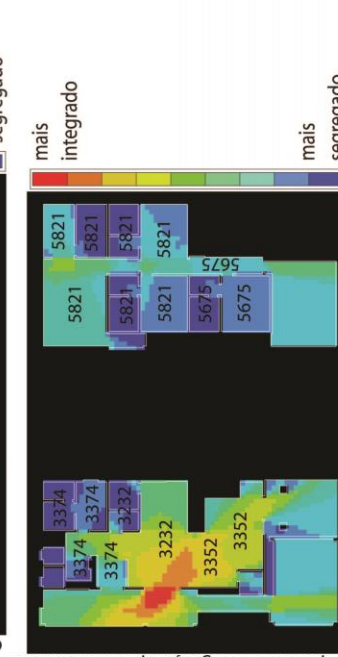
c) Mapa VGA - Integração - Integração



d) Mapa VGA - Integração/visibilidade



e) Mapa VGA - Integração/permeabilidade



f) Mapa VGA - Conectividade

